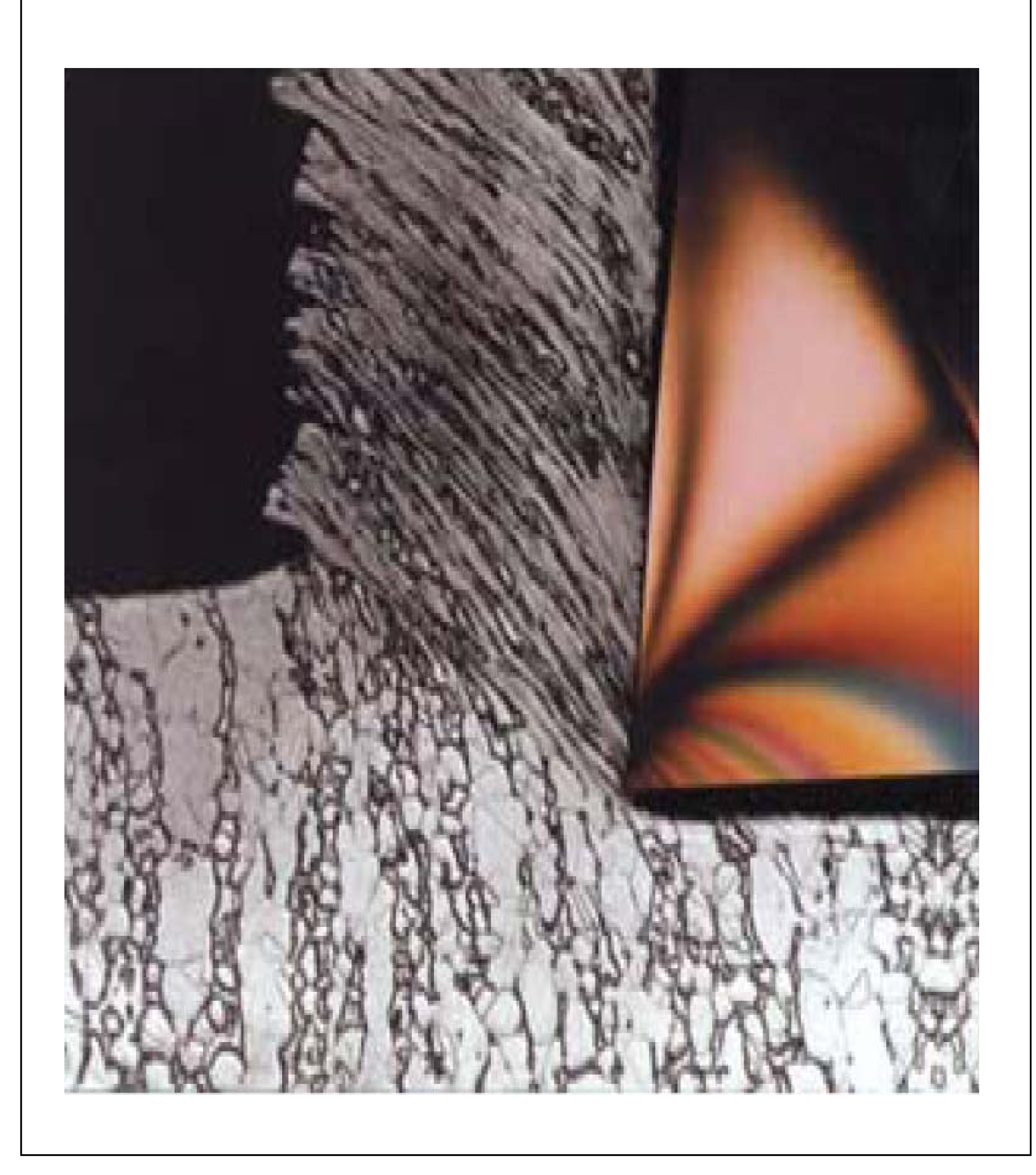
S.BENSAADA

COUPE DES METAUX



PREFACE

L'industrie mécanique s'est développée grâce aux technologies diversifiées de fabrication de pièces et composants qui constituent les ensembles et sous-ensembles mécaniques. Cependant les techniques de moulage et d'estampage n'arrivent pas à satisfaire les besoins mécaniques en pièces et composants spécifiques. Parmi les principaux procédés de fabrication mécanique, il est indispensable d'en citer l'usinage des métaux qui a contribué le plus dans la fabrication et la finition des pièces de précision.

L'usinage des métaux consiste à façonner et finir une surface de pièce de configuration donnée par un ensemble d'opérations à effectuer à l'aide de machines outils. Nous allons voir comment intervient la raison humaine pour l'obtention d'une géométrie déterminée de la pièce grâce à l'harmonisation de l'interaction de plusieurs mouvements imposés tant à la machine, qu'à l'outil de coupe qui fait partie de cette machine-outil, qu'à la surface de la pièce à usiner. Cette dynamique de coupe constitue une technologie de précision qui, par taillage de matière, arrive à concevoir les assemblages les plus recherchés.

Nous entendons parler de tournage, de fraisage, de perçage, de rabotage, etc., mais les nuances sont tellement variées et diversifiées selon la nature du composant à obtenir qu'il faut impérativement savoir chacune des opérations à mettre en œuvre car dans la plus part des cas la combinaison de plusieurs procédés est inévitable. A titre d'exemple, nous évoquons l'opération de perçage qui paraît relativement la plus simple car quiconque connaît bien la perceuse manuelle. Mais dès que vous êtes en présence de dizaines de milliers de perçages de différents diamètres à réaliser sur des matériaux différents, comme dans le cas d'un véhicule, cela devient un véritable domaine de la technologie car, en outre, il faut bien tenir compte des efforts physiques et conditions de perçage pour ne pas altérer les propriétés mécanique des matériaux en fin d'usinage.

La dynamique d'usinage fait appel aux connaissances physiques des efforts des solides en mouvements, celles des propriétés particulières des matériaux et la métrologie dimensionnelle. Bref, l'usinage des matériaux, est un procédé noble qui, de nos jours, se manifeste par la présence de machines numériques programmables, et occupe la place prépondérante dans l'industrie mécanique notamment. Les potentiels d'usinage d'un pays servent d'indice de développement dans cette technologie. C'est pourquoi les bases de ce module de technologie d'usinage sont destinées aux étudiants de cette filière. Un module que tous les élèves ingénieurs du tronc commun de technologie auront l'occasion de le suivre et pouvoir même voir pratiquement la concrétisation de certaines opérations fondamentales dont les effets sont remarquables et appréciés.

L'auteur

S.BENSAADA



1. Introduction

1.1 Importance de l'outil de coupe dans la construction des machines

Généralement la mise en forme de la matière pour produire des pièces de différents types de machines et d'appareils fait appel à des techniques très diverses et suivant l'état de la matière (liquide, solide ou pulvérulent), voir tableau 1.

Donc deux types de solutions se présentent:

a) La mise en forme par enlèvement de la matière qui est l'usinage ou coupe de matière et qui occupe une place de première importance en construction mécanique et dont les moyens sont sans cesse perfectionnés pour diminuer le coût de fabrication et améliorer la qualité du travail réalisé.

b) La mise en forme sans enlèvement de la matière et parmi lesquelles on peut citer:

- Le Formage à chaud et à froid
- La Fonderie
- Et le Frittage

Ce qui nous intéresse dans cette partie est la coupe des métaux qui consiste à l'usinage des surfaces fonctionnelles des pièces mécaniques par enlèvement de la matière (copeaux) au moyen d'outils de coupe.

Avant l'évolution des techniques de coupe, la coupe des métaux s'effectuait avec des outils à main très simples dont certains se sont conservés jusqu'à nos jours sans changement important (lime d'ajusteur, pointe de graveur, scie, burin).

Aujourd'hui l'effort musculaire se trouve évincé par le travail de machines spéciales dites machines outils (tour, fraiseuse, perceuse, rectifieuse, mortaiseuse, raboteuse, etc....).

Donc l'outil de coupe est un organe de machine outil qu'en cours d'opération agit directement sur l'ébauche par enlèvement de matière pour produire une surface conforme à celle spécifiée sur le dessin de définition.

Dans l'usinage le matériau de base est à l'état solide appelé ébauche (état initial), après enlèvement du métal par coupe (transformation) on obtient la pièce mécanique à l'état final conforme aux spécifications du dessin de définition.

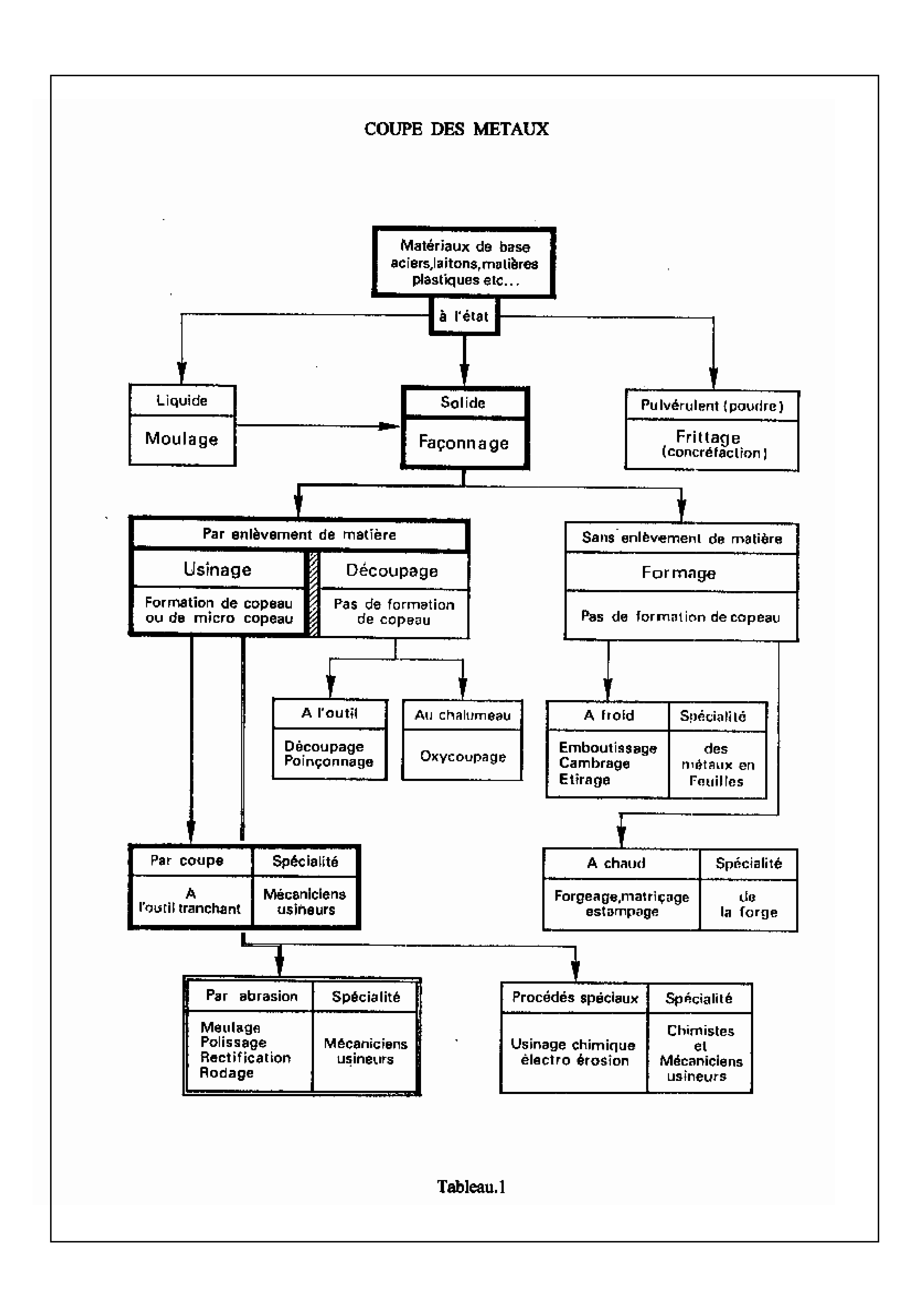
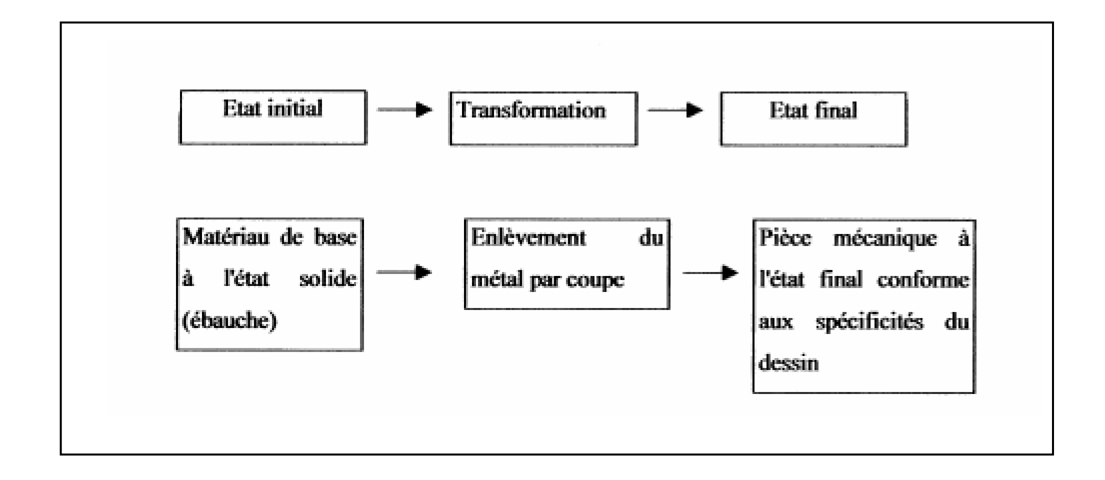
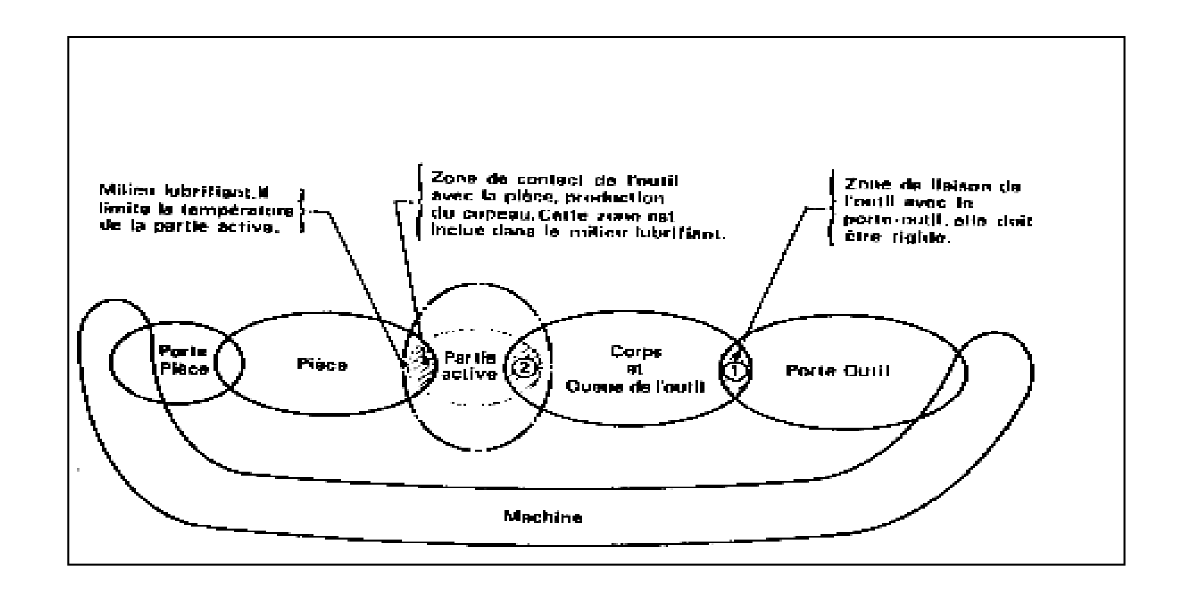

COUPE DES METAUX
Matériaux de base aciers,laitons,matières plastiques etc...
à l'état
Liquide
Moulage
Solide
Façonnage
Pulvérulent (poudre)
Frittage (concréfaction)
Par enlèvement de matière
Usinage
Formation de copeau ou de micro copeau
Découpage
Pas de formation de copeau
Sans enlèvement de matière
Formage
Pas de formation de copeau
A l'outil
Découpage Poinçonnage
Au chalumeau
Oxycoupage
A froid
Emboutissage Cambrage Etirage
Spécialité
des métaux en Feuilles
Par coupe
A l'outil tranchant
Spécialité
Mécaniciens usineurs
A chaud
Forgeage,matriçage estampage
Spécialité
de la forge
Par abrasion
Meulage Polissage Rectification Rodage
Spécialité
Mécaniciens usineurs
Procédés spéciaux
Usinage chimique électro érosion
Spécialité
Chimistes et Mécaniciens usineurs

Tableau.1



Quelque soit le type de machine outil ou le cas d'usinage on a toujours le même schéma ci-dessous représentant les liaisons existantes entre les différents éléments.



Avant de réaliser un usinage, le mécanicien usineur devra choisir: - La machine la mieux adaptée à la réalisation du travail demandé. - L'outil et ses conditions d'utilisation (l'outil convenable au travail désiré). - Le porte outil. - Le porte pièce.

1.1.1. Identification des éléments en présence dans trois cas d'usinage

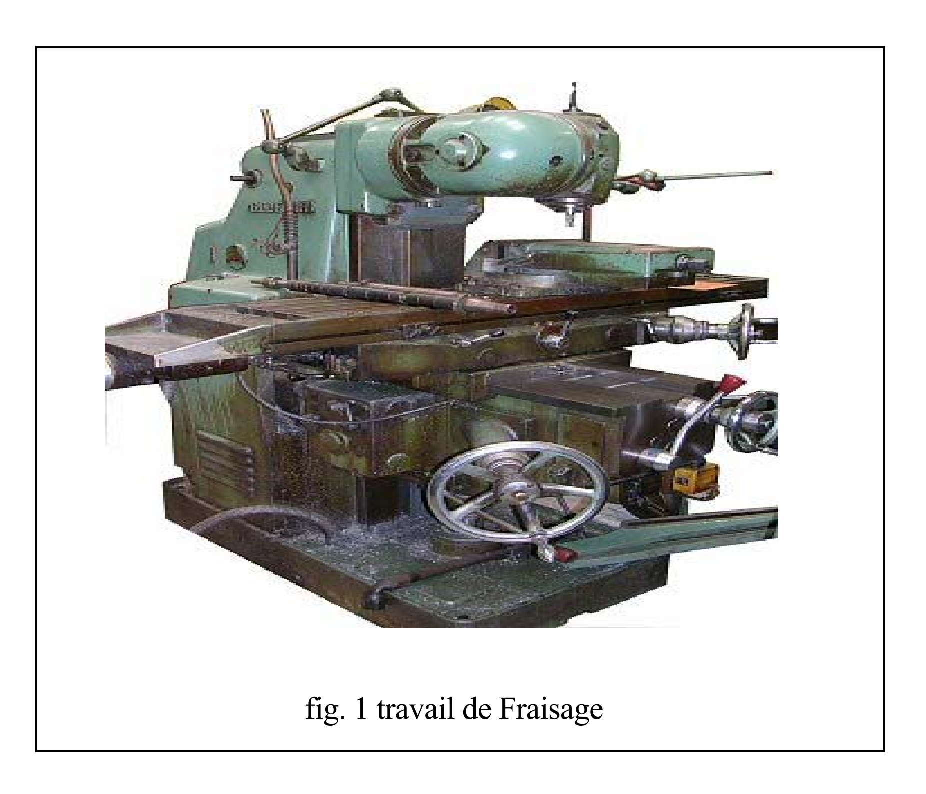


fig. 1 travail de Fraisage



fig.2 travail de Perçage



Fig.3 travail de tournage

1.2. L'outil de coupe modèle

Les outils manuels sont des intermédiaires entre l'homme et la matière (outils de montage, clefs, tournevis, lime, etc..) ou entre la machine et la matière (outils de coupe, fraises, outils de tour, forêt etc....).

Quelque soit le type de travail et pour qu'il y ait production de copeaux, il faut que le couple outil-pièce soit animé de mouvement relatif (fig.4 et fig.5). Ce mouvement relatif peut être composé de mouvement de coupe (Me), mouvement d'avance (Mf) et mouvement de profondeur (Mp).

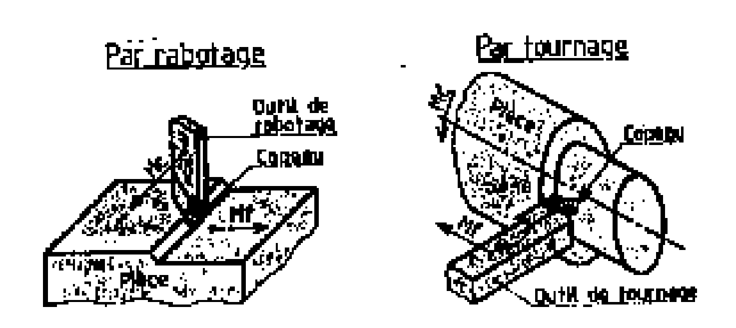


Fig.4 Rabotage et Tournage

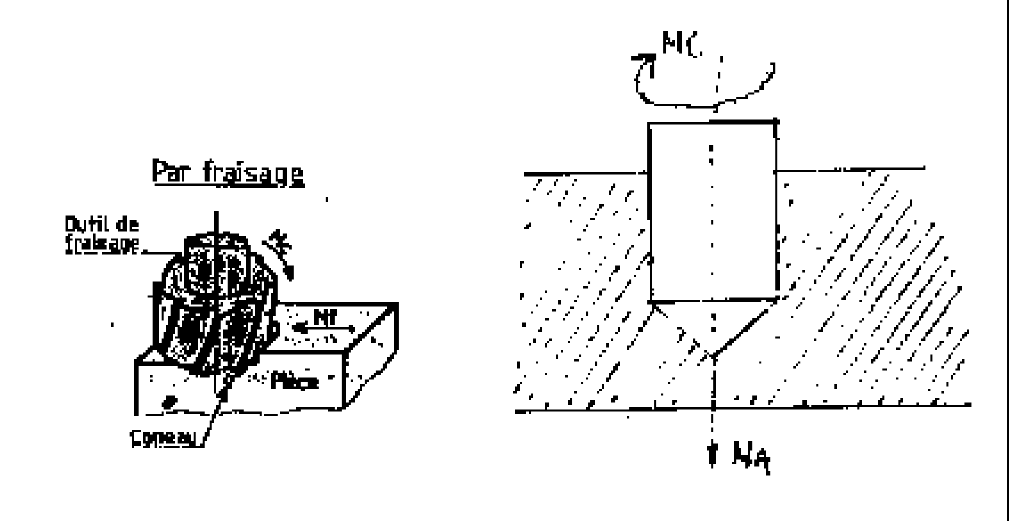


Fig.5 Fraisage et Perçage

Mouvement de coupe (Me)

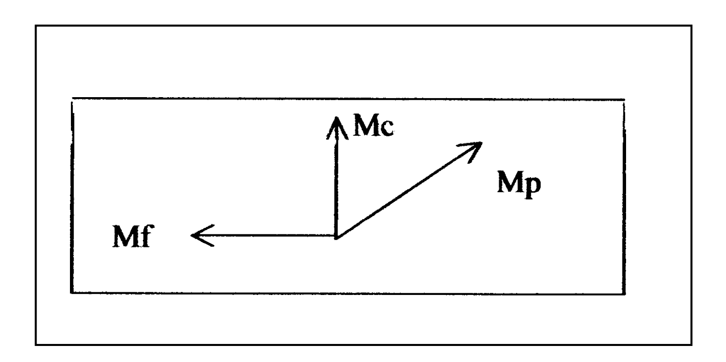
C'est le mouvement qui participe directement au détachement de la matière sous forme de copeaux pendant la course de la machine dite course de travail.

Mouvement d'avance (Mf)

C'est le mouvement dont le direction est perpendiculaire à Me et qui intervient lorsque l'outil ne travaille pas c'est-à-dire pendant la course-retour. Ce mouvement à pour but de décaler la pièce latéralement d'une quantité **a** dite avance, pour que l'outil puisse a la nouvelle course-travail détacher d'autres copeaux.

Mouvement de profondeur (Mp)

C'est le mouvement de profondeur ou de passe dont la direction est perpendiculaire aux deux précédentes.



Copeaux

Les copeaux sont continus (forme de ruban) dans le cas des métaux malléables (acier) et fragmentés dans le cas des métaux non malléables (bronze et fonte).Les copeaux doivent être évacués, sinon ils tracent des sillons sur la surface usinée. Lors du perçage avec un forêt trop court, dès que la queue cylindrique se trouve engagée, les copeaux ne peuvent plus s'évacuer, l'effort de rotation augmente et la machine ralentit jusqu'à l'arrêt ou la rupture du forêt.

1.2.1 Différentes parties de l'outil

Les parties principales (fig.6 et 7) existantes sur un outil de coupe sont:

Le corps: Il assure la liaison de l'outil avec le porte-outil, il est prismatique ou cylindrique.

La queue: Pour les fraises, les forêts, on appelle "queue" l'élément qui permet la liaison de l'outil avec le porte-outil. La queue est cylindrique ou conique (cône morse CM ou standard américain SA).

La partie active: C'est la partie qui agit sur la pièce pour provoquer un enlèvement de métal. Elle est caractérisée par sa forme et son matériau.

La dureté de la partie active doit être plus grande que celle du métal à travailler.

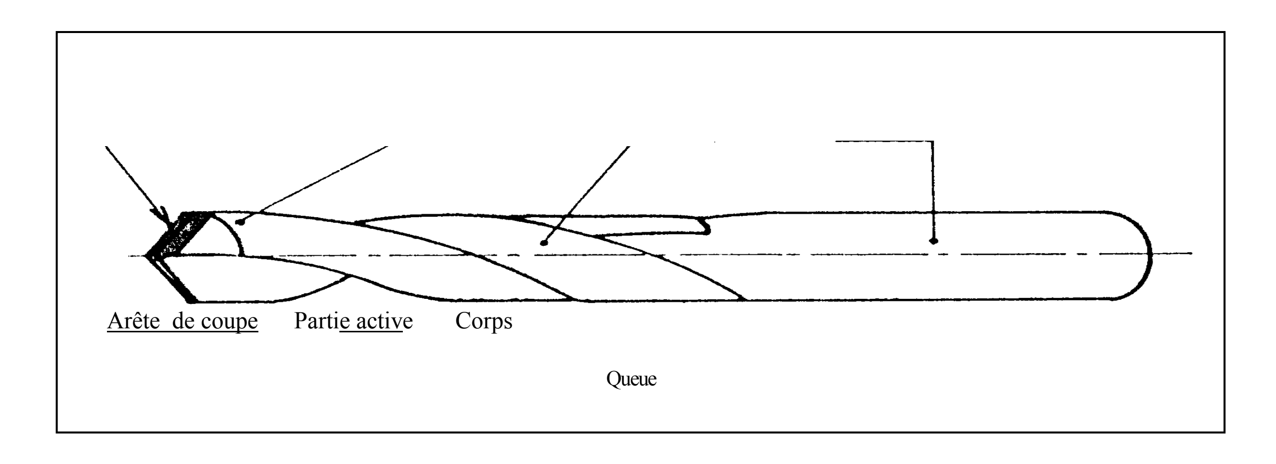


Fig.6

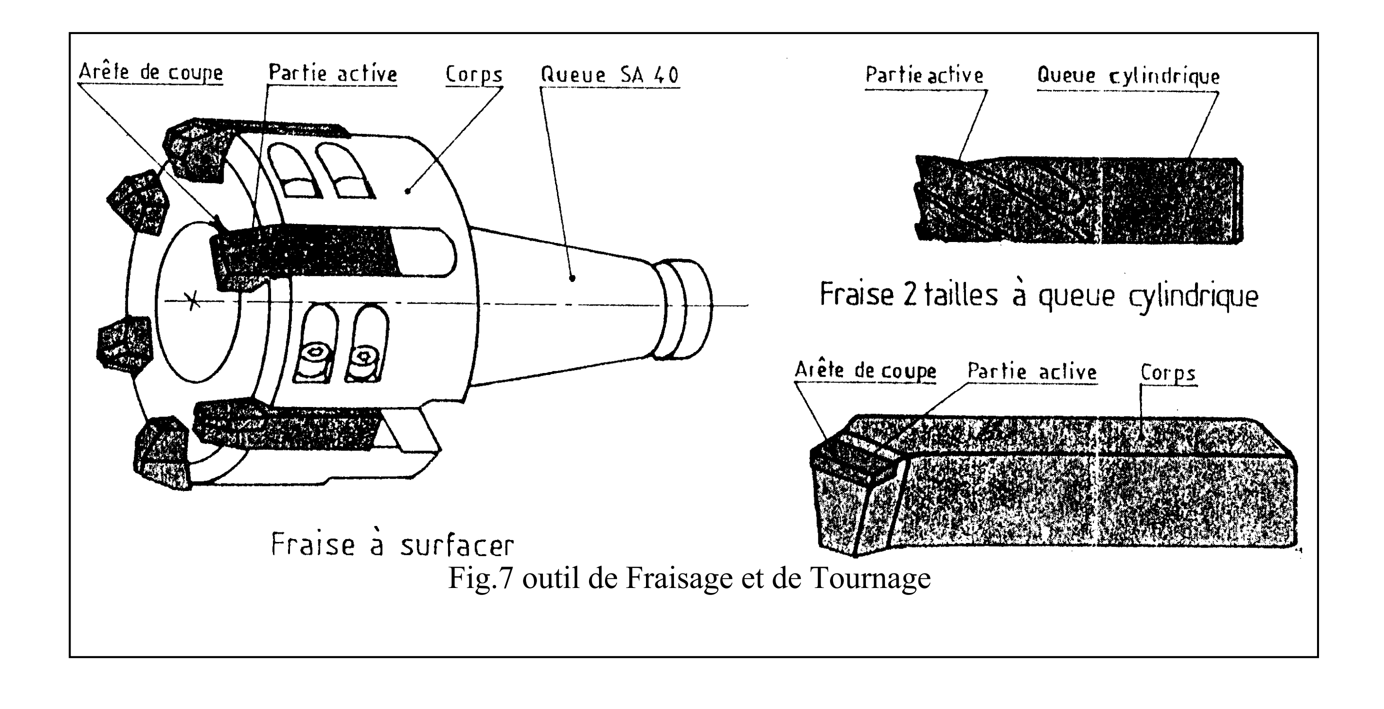


Fig.7 outil de Fraisage et de Tournage

1.3.Classification des outils

On peut classer les outils en trois groupes:

1.Les outils simples à tranchant uniques: outil de Tournage et de Rabotage outil de Tournage et de Rabotage.

2. Les outils associés ou outils à arêtes multiples: outils fraise, forêt, alésoir, scie, lime etc..

3. Les outils-meules: ce sont des outils à arêtes multiples dont le mode d'action est un peu différent de celui des outils du 2e groupe

2. Matériaux d'outillage et exigence principale de l'outil de coupe

Les performances des machines outils dépendent étroitement de celles des outils de coupe qu'elles actionnent et des conditions d'utilisation des outils.

Pour que l'arête tranchante d'un outil de coupe reste toujours vive, elle ne doit pas s'user, ainsi la matière qui la constitue doit être plus dure que celle de la pièce à usiner. Comme la dureté d'un métal et sa résistance varient en sens inverse, on doit prendre des précautions particulières pour avoir une partie active, sur laquelle se forme les copeaux, très durs et un corps résilient et résistant à la flexion et la torsion. D'où l'idée de constituer un outil en deux parties.

- L'une (active) en matériau dur avec ou sans traitement thermique.
- L'autre (passive) sur laquelle est rapportée la partie active, soit par plaquette montée mécaniquement ou par soudobrasage, soit par soudage électrique par rapprochement, soit par sertissage.

La partie active de l'outil servant à couper la matière doit posséder les qualités suivantes:

- Résistance élevée aux sollicitations (résistance aux chocs, à la traction, compression etc....).

- Dureté élevée des faces de coupe et de dépouille (des surfaces dont l'intersection forme l'arête coupante) pour pouvoir pénétrer dans le métal usiné.

- Faible rugosité (Ra =1.6 µm) des faces de coupe et de dépouille. Conservation de la dureté à des températures élevées (500 à 900°C) pour limiter les effets de l'usure sur les faces de coupe et de dépouille.

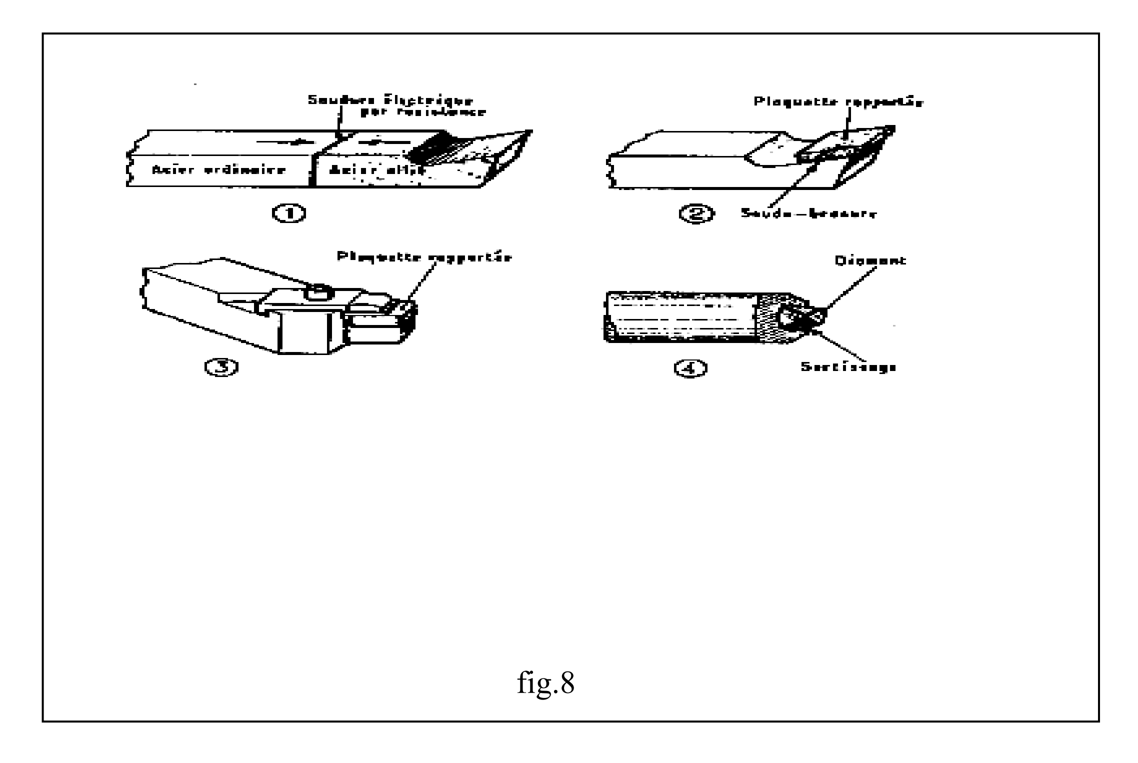


fig.8

Depuis 1900 beaucoup de travaux ont été réalisés dans le domaine de coupe des métaux et plusieurs matériaux à outils ont été successivement introduits dont les performances sont de plus en plus élevées en ce qui concerne:La dureté des matériaux susceptibles d'être usinés et les vitesses de coupe utilisables.

Le coût de l'usinage dépend du débit, c-à-d du volume des copeaux enlevés par minute (fig.9).

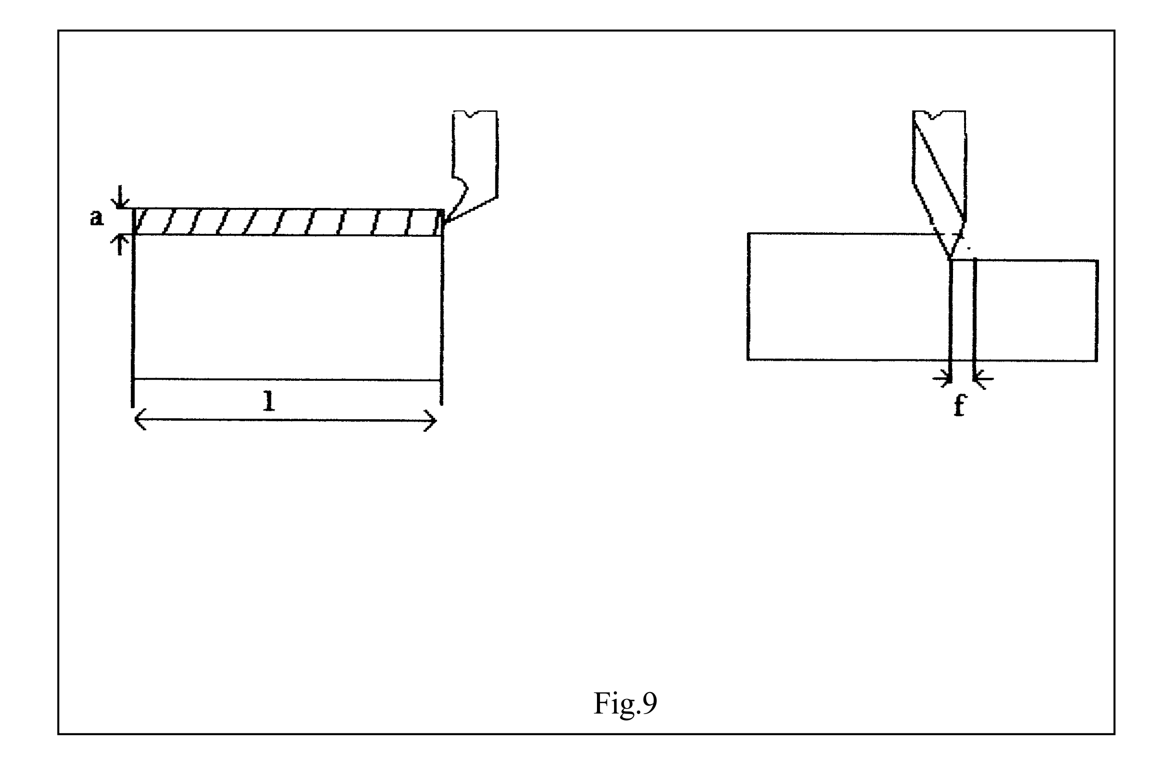


Fig.9

Connaissons **Vm/min,** ***a*** *et* ***f***

- La section S du copeau : **S = a . f**

Volume du copeau: **V(m3)=** ***S* . *l***

Volume débité par minute: **V/min=S.L/t**

Vitesse **Vm/min = l/t**

- $V \min = S.$ **Vm/min**

Donc pour augmenter le débit on doit augmenter S (a et f).

La ligure 10 nous donne un aperçu sur l'évolution historique des vitesses pour l'usinage des aciers.

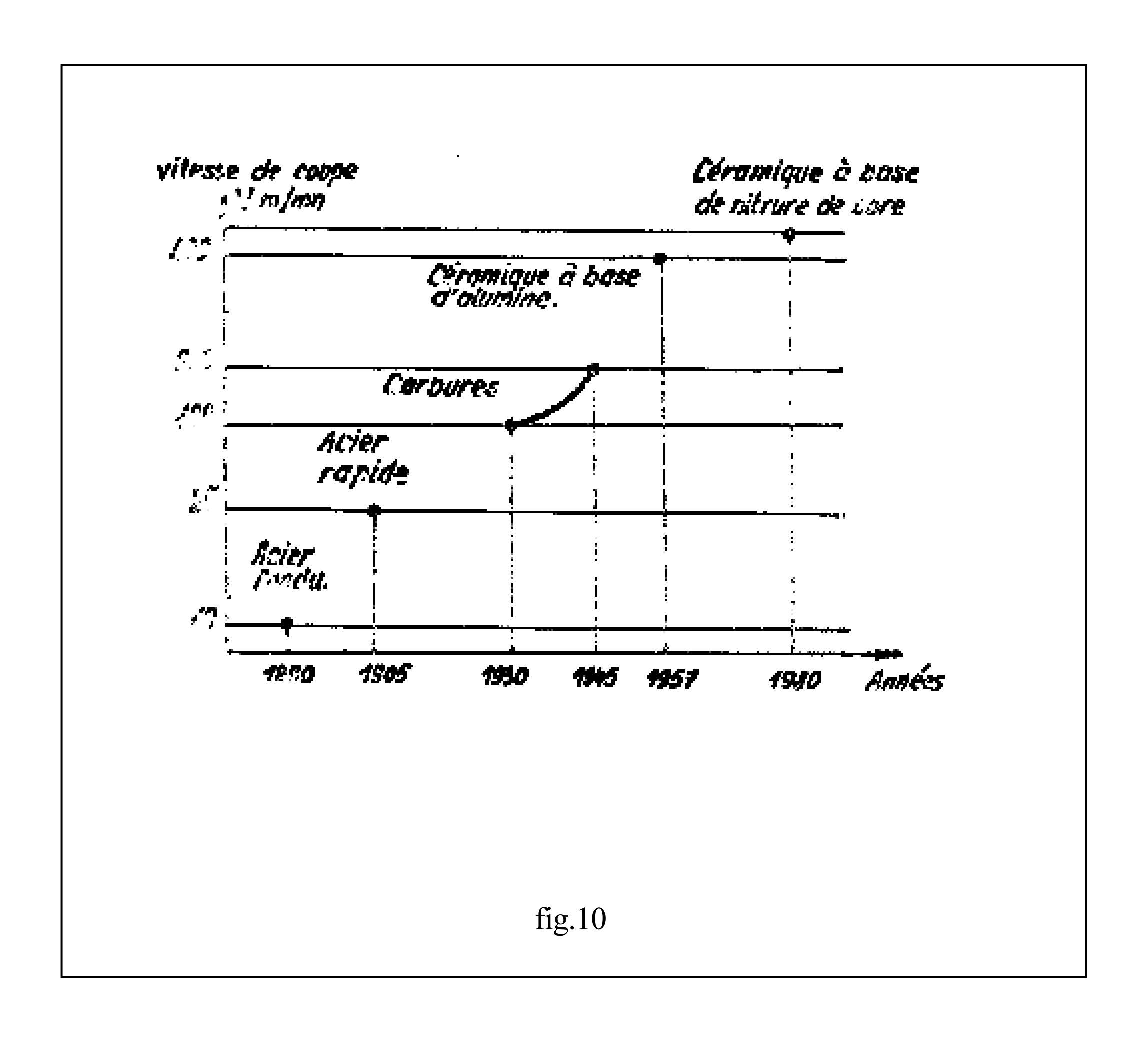


fig.10

Matériaux de coupe	Valeur moyenne de la dureté			Température maxi d'utilisation en degré
	du matériau de coupe		du matériau usiné	
	HRC ou HV	Knoop	HRC	
Aciers rapides	64 à 68 HRC		30	550
Aciers rapides revêtus	80 HRC (1 040 HV)		40	600
Carbures métalliques	1 300 à 1 800 HV	17 à 18	50	800
Céramiques à base d'alumine et titane		28	60	1 400
Céramique à base de nitrure de bore		43 à 46	72	1 000 à 1 200
Diamant		56 à 102	pas de limite	

Une classification des matériaux par ordre de dureté croissant peut être établi comme suit:

Acier au carbone trempé -

Acier au carbone allié

Acier au Tungstène trempé (acier rapide)

Alliages coulés (stellites)

Carbures métalliques

Céramique

Diamant

2.1 Aciers au carbone

2.1.1 Aciers au carbone trempé

Ce sont les aciers de désignation XC et dont la teneur en carbone dépasse 0,6% (XC82, XC100) qui présentent une dureté à froid de 60 HRC. Leur vitesse de coupe est très faible, car un échauffement supérieur à 250°C leur fait perdre leur tenue (dureté).

Ces aciers acquièrent toute leur dureté par une trempe à l'eau après un chauffage à 750°C environ.

Donc ces outils sont fabriqués d'une seule pièce (acier catégorie dur et extra dur).

Ces aciers sont employés dans l'industrie uniquement pour les outils à faible vitesse de coupe (tarauds, filière, alésoirs, pour le travail à main).

2.1.2 Aciers au carbone alliés

On sait que le chrome et le molybdène permettent au carbone d'obtenir son maximum de dureté. Ce sont donc ces éléments que l'on retrouvera dans la composition des aciers alliés pour outils. Ils seront utilisés dans les mêmes conditions que les aciers XC mais permettront la coupe de matériaux plus durs.

2.2 Aciers rapides (au tungstène trempé)

Par aciers "rapides" il faut entendre "aciers à coupe rapide". On effet, ces aciers comportent généralement une quantité importante de Tungstène (W) de cobalt (K) et de chrome (C) additionnée à l'alliage de base afin d'améliorer la dureté et la résistance à l'usure (acier comportant 0.9 à 1.5% de carbone), ils sont austenisés entre 1250°C et 1300°C et subissent un revenu à une température de l'ordre de 600°C. Par suite ils peuvent travailler facilement à une température de 500°C sans que l'arête tranchante soit détériorée. Si réchauffement n'est pas à craindre jusqu'à cette température, ils peuvent travailler plus vite, d'où leur terminologie. Bien que leur performances soient relativement faibles, ils sont encore utilisés dans différents domaines, tels que:

- Outils à tranchants multiples (fraise, taraud, forêt).
- Outils de forme complexe.
- Outils à tranchant unique utilisés pour la fabrication des outillages.
- Il est nécessaire de choisir une nuance d'acier rapide adaptée aux travaux à réaliser. Une révolution importante semble se dessiner avec l'introduction sur le marché des outils à aciers rapides revêtus d'une couche de nitrure de titane dont la dureté (HRC = 80) permet une meilleure résistance à l'usure et à a corrosion.

Nuances	Dureté Rockwell	Dureté Vickers	Utilisations générales
	HRC	HV	
Z 80 WKCV 18 08 04 02	64	806	Aciers rapides pour toutes opérations courantes d'usinage
Z 150 WKCV 12 05 05 04	66	860	
Z 110 DKCWV 09 08 04 02	68	928	Aciers rapides pour travaux difficiles, ils possèdent une plus grande résistance à l'abrasion
Z 110 WKCDV 6,5, 05, 04, 3,7, 02	67	890	
Acier rapide revêtu d'une couche de nitrure de titane (ép = 5 µm)	80	1 040	Travaux difficiles, résistent très bien à l'usure et à l'abrasion

Z: allie, W: tungstene, K:cobalt, C: chrome, V: vanadium, D: molybdene

Les aciers rapides sont chers et ils sont utilisés sous la forme de plaquettes. Les aciers rapides non revêtus ne sont pas recommandes pour usiner les matériaux dont la dureté est supérieure à HR30.

On distingue:

-**Les aciers rapides ordinaires (A.R.O)** a deux composants : C: 0,6à0,7% W: 14à16% , température de trempe 1150 à 1200°C, ils conservent toute leur dureté Jusqu'à 400°C.-**L.es aciers rapides supérieurs (A.R.S)** au moins trois composants : C: 0,65à0,75% W:18%, Cr:4%, Mo: 0,7% température de trempe 1200 à 1250°C, ils conservent toute leur dureté jusqu'à 500°C.

-Les aciers rapides extra supérieurs (A.R.E.S) adjonction de cobalt. C: 0,65à0,85%,W:20%, Cr: 4à 5%, Mo:1%, Va: 1% Co: 11à15%, température de trempe: 1300 à 1320°C, ils conservent toute leur dureté jusqu'à 600°C.

2.3 Alliages spéciaux

Ces matériaux ne contiennent pas de fer: ce ne sont donc pas des aciers. Ils ne subissent pas de traitements thermiques et ne se forgent pas. Leur dureté provient de leur élaboration et parmi eux on peut citer :

- Les stellites
- Les carbures métalliques
- Les céramiques

2.3.1 Les stellites

Ce sont des alliages de cobalt (55%), (Chrome 33%), (tungstène 10%), carbone (2%), point de fusion 1280°C. Leur dureté est comparable a celle des aciers trempés, elle ne diminue qu'après réchauffage à 700°C. Ils autorisent donc des vitesses de coupe plus élevées que les aciers rapides.

Ils sont sensibles aux brusques changements de températures, ils se criquent. Aussi faut-il travailler sous arrosage constant et non intermittent. Ils ne conviennent pas pour la coupe des matériaux tendres.

2.3.2 carbures métalliques

Pour permettre une coupe encore plus rapide, les outils en aciers au carbone ou en acier allié sont remplacés par des alliages métalliques élaborés par frittage de carbures très durs.

Les carbures métalliques sont des agglomérés de poudre de cobalt, de carbures de tungstène, de tantale, et de bore.

Le mélange des carbures et de la poudre de cobalt est comprimé à 4000kg/cm^2 dans un moule ensuite cuit en atmosphère d'hydrogène à 850°C, puis chauffé à 1500°C. A cette température, le cobalt seul fond et sert de liant. Ce mode d'obtention est appelé frittage.

La dureté des carbures métalliques est voisine de celle du diamant et ils la conservent jusqu'à 1000°C. Ils permettent de travailler quatre à huit fois plus vite qu'avec des aciers rapides mais sont sensibles aux brusques variations de températures.

Suivant leur composition, les carbures métalliques sont adaptés à des usages bien limités tels que ébauche, finition, métaux ferreux et non ferreux, travail avec chocs ou sans chocs. Ils sont présents dans le commerce sous forme de plaquettes moulées, car les carbures métalliques étant très fragiles aux efforts de flexion donc ils sont préparés en plaquettes de dimensions réduites fixées sur le corps de l'outil par soudobrasage ou par des moyens mécaniques.

- Ces plaquettes portent des noms donnés par les fabricants tels que: Widia, Diamolyb. carboram. Ils sont classés en trois catégories symbolisées par les lettres P, M, K visualisés par les couleurs: P (bleu), M (jaune) et K (rouge).

- P01 à P40:utilisés pour les métaux ferreux à coupeaux longs (travail des aciers).

- M10 à M40: utilisés pour les métaux ferreux à coupeaux longs et courts (travail des fontes et aciers).

- K01 à K40: utilisés pour les métaux ferreux à coupeaux courts et métaux non ferreux (travail des fontes).

La tendance actuelle consiste à enrober les carbures d'une mince couche (5um) de matériau possédant d'exceptionnelles qualités de résistance à l'usure et à la cratérisation. Par exemple un revêtement de nitrure ou de carbure de titane, la résistance à l'usure de arêtes de coupe est multipliée par quatre tout en autorisant des vitesses de coupe plus grande.

2.3.3 Céramiques

Ils sont comme les carbures, des matériaux obtenus par frittage. Mais les carbures métalliques sont remplacés ici par des éléments à base d'alumine pure ($A1_20_3$) c'est la solution la plus ancienne sous forme de poudre $A1_20_{3;}$ avec utilisation comme liant l'oxyde de chrome.

La solution la plus récente utilise une poudre à base de nitrure de bore. Donc c'est un corps très dur 60 HRC ($A1_20_3$) et 72 HRC (à base de nitrure de bore).

Quelques propriétés:

- Absence de copeaux adhérents pendant la coupe.
- Très bonne acuité de l'arête de coupe, ce qui autorise éventuellement un copeau minimum d'épaisseur voisine de 0.01mm.
- Obtention d'une bonne rugosité (Ra = 0.8µm).
- Utilisation des vitesses de coupe 3 à 5 fois supérieures à celles admises pour les carbures.
- Elles ont l'inconvénient d'être d'une utilisation plus délicate que celle des carbures par ex:

• Elles sont plus sensibles aux chocs.

• Elles nécessitent des machines robustes et puissantes.

Les céramiques se présentent uniquement sous forme de plaquettes fixées sur un corps d'outil par un dispositif mécanique.

2,4 Diamant

D'origine naturelle ou synthétique c'est le matériau le plus dur. Son prix d'achat élevé en limite l'utilisation. On utilise dans l'industrie des diamants généralement impropres à la bijouterie (types noirs).

Le diamant se présente sous deux formes:

- Poudre collée sur un support en fonte pour les meules destinées à l'affûtage des outils des carbures.
- Grain serti ou brasé sur un corps pour les outils tranchant unique réservés à des travaux de finition. Exemple comparatif: finition d'un alésage de piston.
- Outil carbure: 2000 pièces entre deux affûtages, rugosité obtenue Ra= 1.6um.
- Outil diamant: 5000 pièces entre deux affûtages, rugosité obtenue Ra=0.4um

L'outil diamant trouve surtout son emploi à très grandes vitesses sur les matériaux ductiles que durs. Travail de finition du cuivre, bronze, aluminium pour obtenir un beau poli de la surface le diamant peut usiner tous les métaux quelque soit leur dureté

2,5 Fabrication des outils 2.5.1 Outils en acier

Ils sont pris dans la barre et façonnés par moulage ou par forgeage. Toutefois les outils en acier rapide sont constitués le plus souvent par une mise, ou pastille, en acier rapide extrasupérieur soudée sur le corps (fig.11). Avant soudage la pastille doit porter parfaitement sur son siège et s'appuyer contre un talon raccordé au siège par un léger congé. La soudure employée est une poudre à base de tungstène. Elle ne donne de résultats que si les parties à souder sont très propres et si le chauffage est fait en zone réductrice.

Pour donner à l'outil une plus grande dureté, on peut souder en bout, électriquement une partie active en acier rapide de même section que le corps, (fig.11).

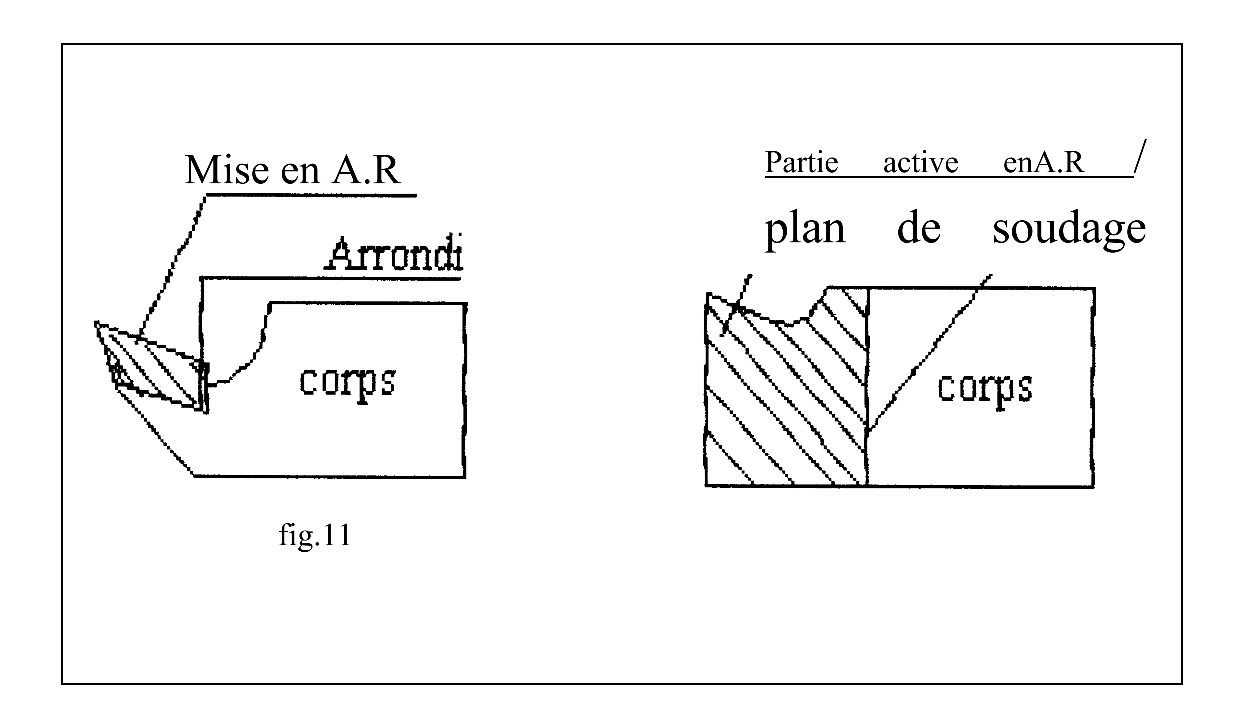


fig.11

2.5.2 Outils en Stellites

Sur un corps en acier mi-dur, on dépose une couche de stellite au chalumeau oxyacétylénique (fig.12) puis on passe à l'affûtage.

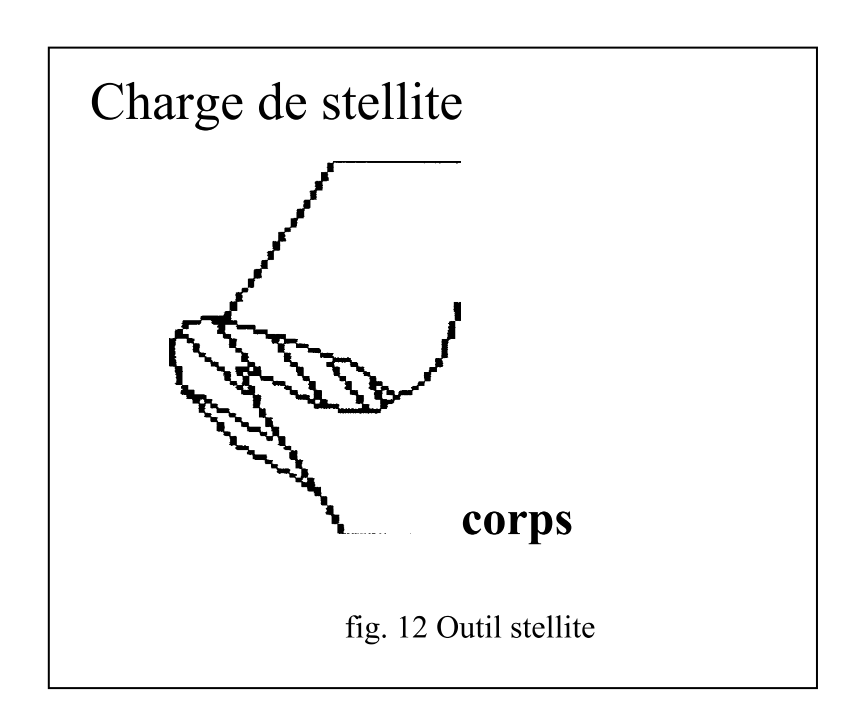


fig. 12 Outil stellite

2.5.3 Outils en carbures métalliques . La partie active de l'outil est constituée par une pastille, ou plaquette, de carbure métallique brasée sur un corps en acier mi-dur (fig.13), ou maintenue par un pincement (fig.14).

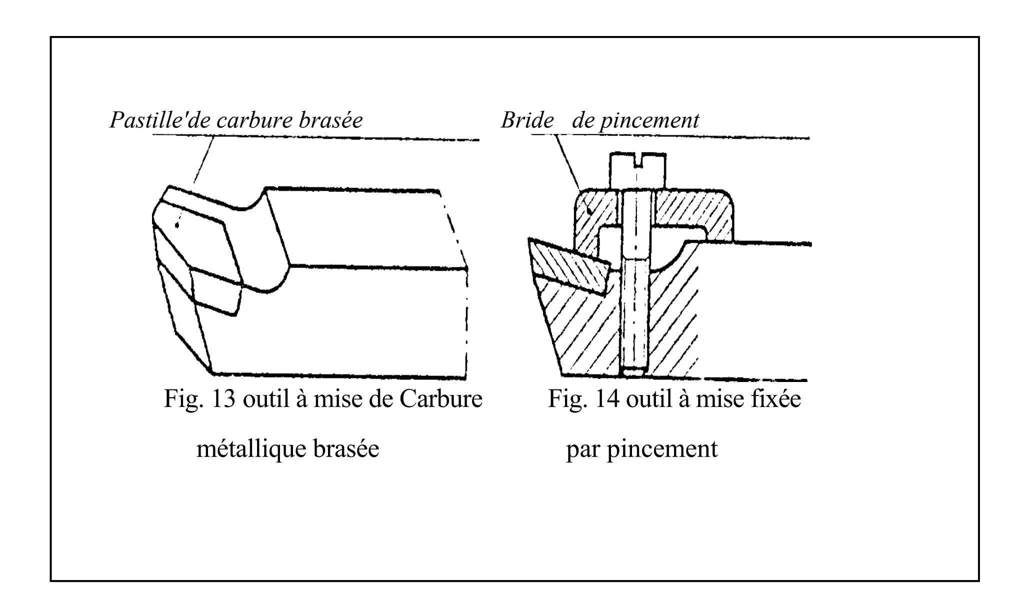


Fig. 13 outil à mise de Carbure métallique brasée

Fig. 14 outil à mise fixée par pincement

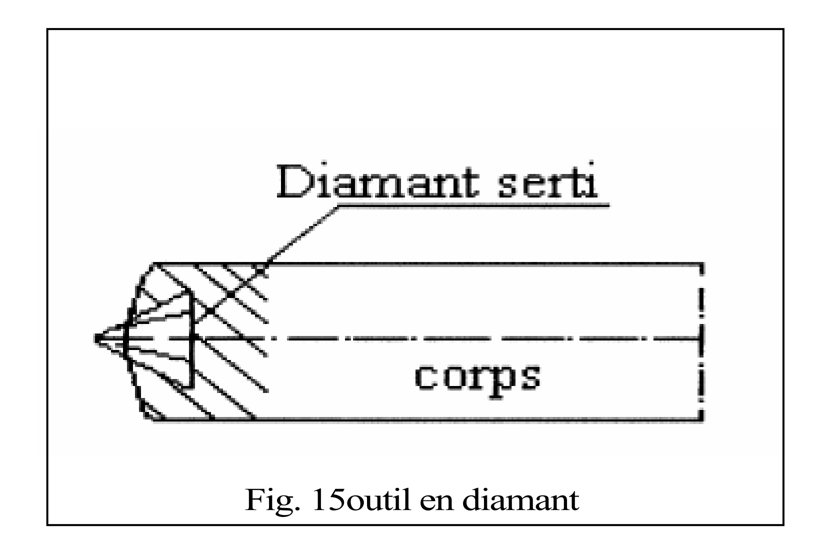
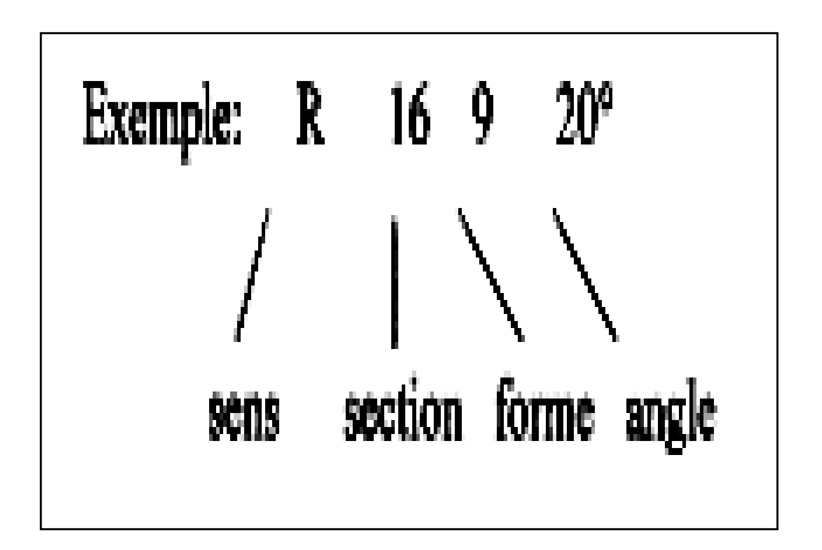


Fig. 15outil en diamant

Selon la norme Afnor la désignation des outils prismatiques de forme normalisée est la suivante



R: à droite
L: à gauche
q: section
h: section
r: section ronde.

3. Caractéristiques des outils de coupe

Chaque dent des outils à tranchants multiples (fraise, forêt etc..) se comporte comme un outil élémentaire dont le modèle est l'outil prismatique de tournage ou rabotage. L'étude de la partie active de tous les outils passe par celle de l'outil prismatique.

Quelque soit le type d'usinage on a toujours une liaison entre le porte outil d'une part et la pièce d'autre part (fig.16).

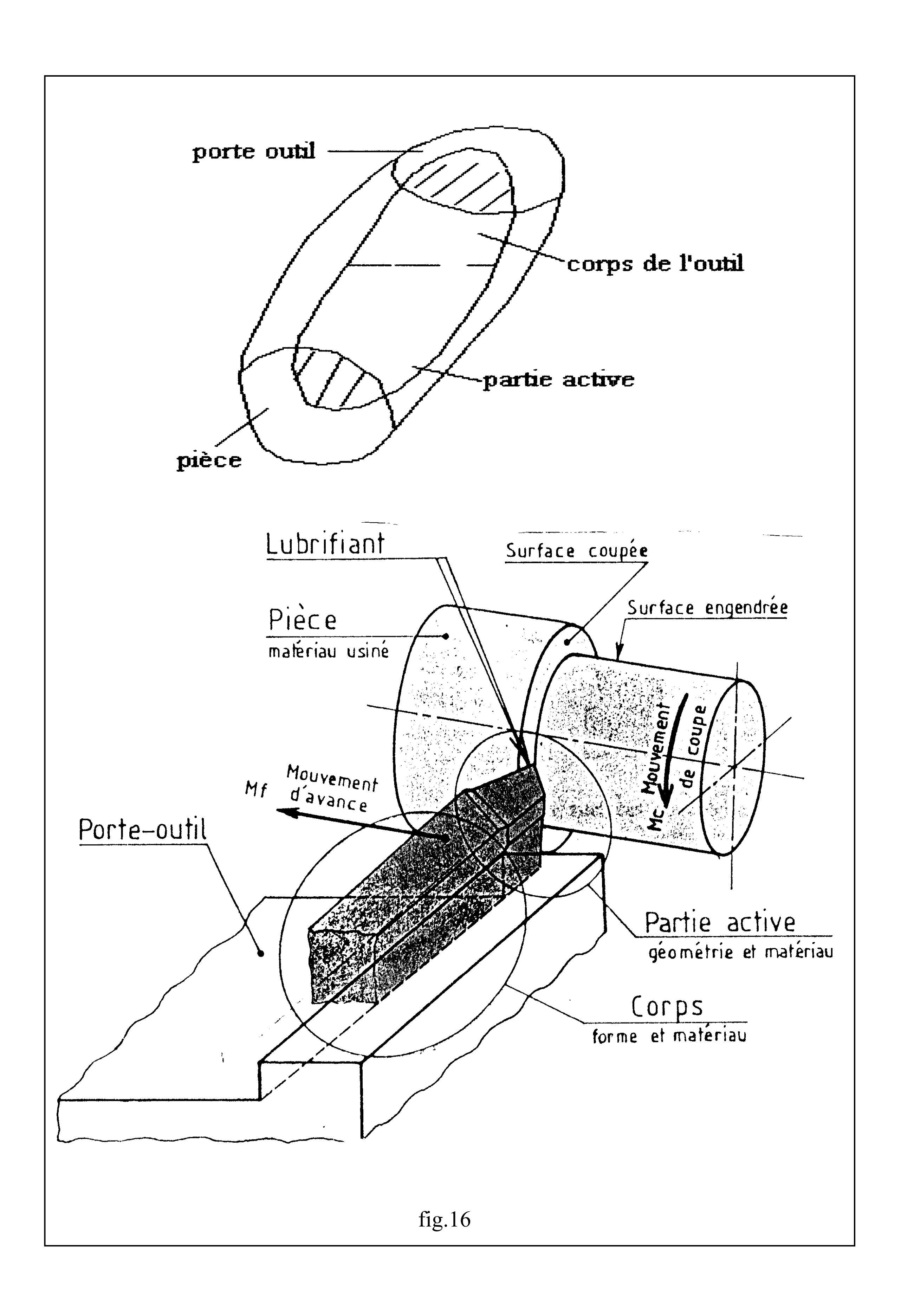

porte outil
corps de l'outil
partie active
pièce
Lubrifiant
Surface coupée
Surface engendrée
Pièce
matériau usiné
Mouvement d'avance
Mf
Mouvement de coupe
Mc
Porte-outil
Partie active
géométrie et matériau
Corps
forme et matériau

fig.16

Un outil de coupe est destiné à couper la matière d'oeuvre et présente pour se faire une arête tranchante. Cette arête tranchante est définie par l'intersection de deux surfaces, la face de coupe (très généralement plane) et la face de dépouille fig.17. Si l'arête tranchante est une droite elle est dite rectiligne, dans les autres cas elle est dite curviligne. Les formes des outils peuvent être classées en deux catégories.

- Les outils prismatiques à charioter, raboter, mortaiser, etc.... dont le corps est prismatique.
- Les outils possédant un axe de révolution forêt, fraise, taraud, dont le corps est cylindrique.
- Terminologie des surfaces et arêtes de l'outil prismatique

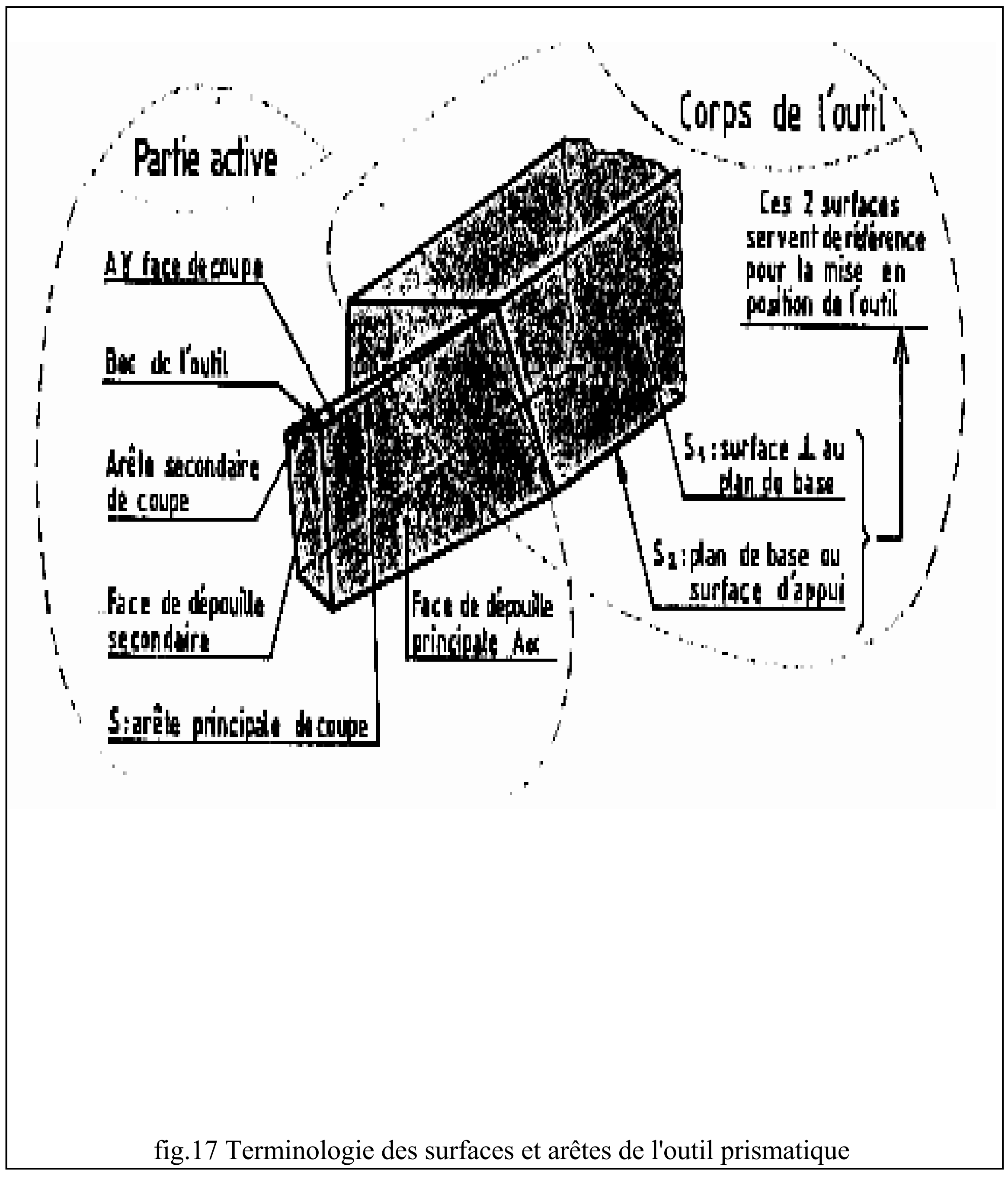


fig.17 Terminologie des surfaces et arêtes de l'outil prismatique

3.1. Examen de la coupe sur une machine-outil

Nous pourrions faire systématiquement des remarques comparables aux précédentes à propos de toute opération d'usinage industriel à l'outil de coupe. A titre d'exemple, en observant attentivement un étau-limeur au travail, nous constatons en effet :

- que l'outil est plus dur que la pièce travaillée car, dans le cas contraire, il s'écraserait contre elle;
- que la partie saillante de l'outil, ou partie active, à la forme d'un coin dont l'arête est vive;
- que, a l'instant où l'outil attaque la pièce, seule l'arête coupante est en contact avec elle. La pénétration est ainsi progressive;
- que le moteur de la machine exerce, par l'intermédiaire d'un mécanisme, l'effort nécessaire au déplacement de l'outil par rapport à la pièce et au détachement du copeau. La résistance de la pièce à la pénétration de l'outil est donc vaincue;
- que ni l'outil ni la pièce ne se dérobent à l'effort nécessaire à la coupe car ils sont tous deux fixés à des organes suffisamment rigides de la machine.

Un examen plus approfondi du mécanisme de la coupe nous conduit à observer qu'il procède de trois mouvements principaux:

- **le mouvement de coupe MC** qui participe directement au détachement du copeau pendant la course de la machine dite **course de travail.**
- **Le mouvement d'avance Mf,** dont la direction est perpendiculaire à celle du mouvement de coupe et qui intervient seulement lors de la **course de retour** pendant laquelle l'outil ne travaille pas. Ce mouvement a pour but de décaler la pièce latéralement d'une quantité a, dite **avance,** pour que l'outil puisse à la nouvelle course travail détacher un nouveau copeau.
- **Le mouvement de profondeur de passe MP** (ou encore **pénétration)** dont la direction perpendiculaire aux deux précédentes et qui intervient uniquement pour déterminer l'épaisseur **p** de la couche de métal à enlever à chaque opération qui prend le nom de **passe.** L'excédent de métal que comporte la **pièce brute,** ou **ébauche,** est ainsi enlevée en une seule passe ou en plusieurs passes successives.

Un dernier examen que la forme de la partie active de l'outil est favorable au détachement des copeaux et à leur rejet hors de son passage. Ils ne gênent donc pas l'outil dans son travail et la surface usinée est géométriquement plus correcte.

3.2. Corps de l'outil (partie passive)

a) Il doit être rigide pour résister aux efforts qui prennent naissance pendant la coupe. Il est réalisé en acier dans les nuances XC38 et XC48. Sa section est carrée, rectangulaire ou circulaire.

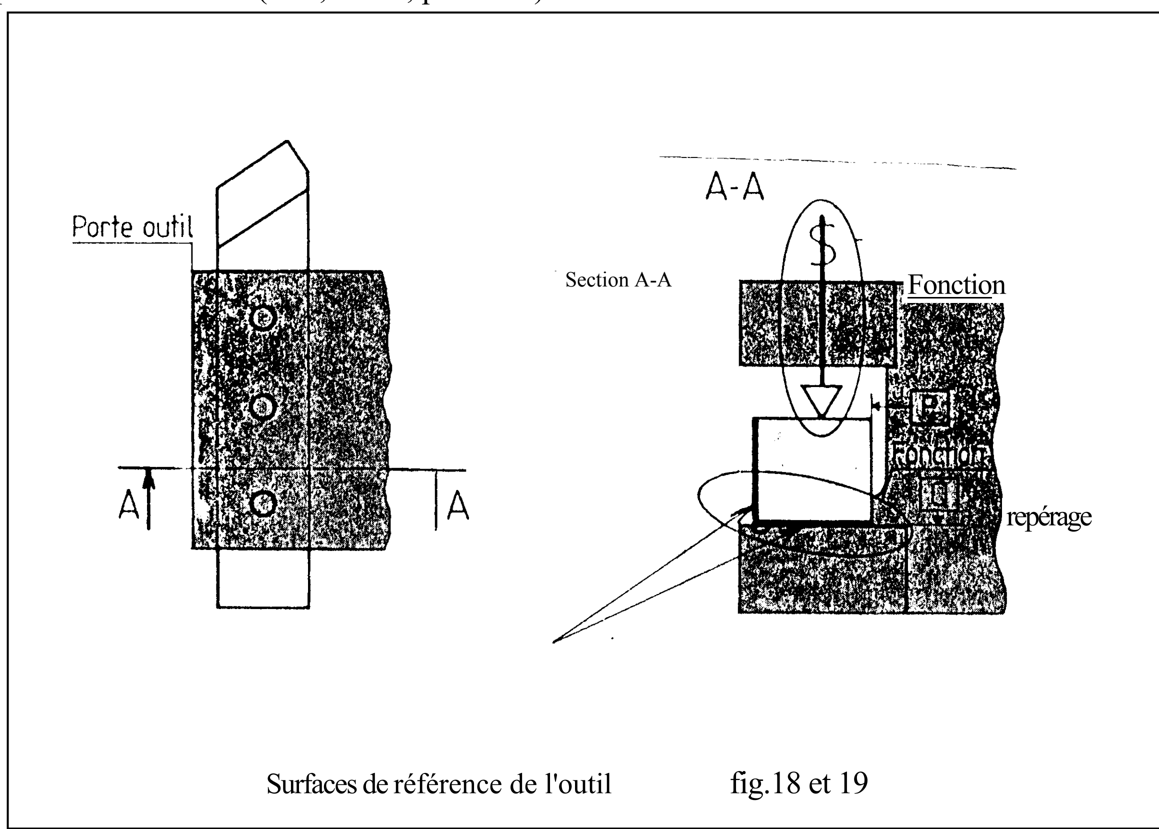
b) Il doit permettre un repérage correct de l'outil dans le porte outil. Pour satisfaire cette condition les corps prismatiques possèdent deux surfaces de référence de bonnes qualités géométriques.

c) Il doit être fixé rapidement et facilement dans le porte outil.

Le corps de l'outil dépend de nombreux facteurs:

-La forme de la surface à engendrer (cylindre, plan, etc...).

-Type de machine-outil (tour, fraise, perceuse).



Surfaces de référence de l'outil fig.18 et 19

3.2.1. La partie active

La partie active c'est celle qui est en contact avec le métal à usiner. C'est essentiellement l'arête tranchante et les parties adjacentes des deux faces qui la déterminent.

Face de dépouille

C'est la face qui se trouve en regard de la surface qui vient d'être travaillée.

Face de coupe

C'est celle sur laquelle s'appuie et glisse le coupeau

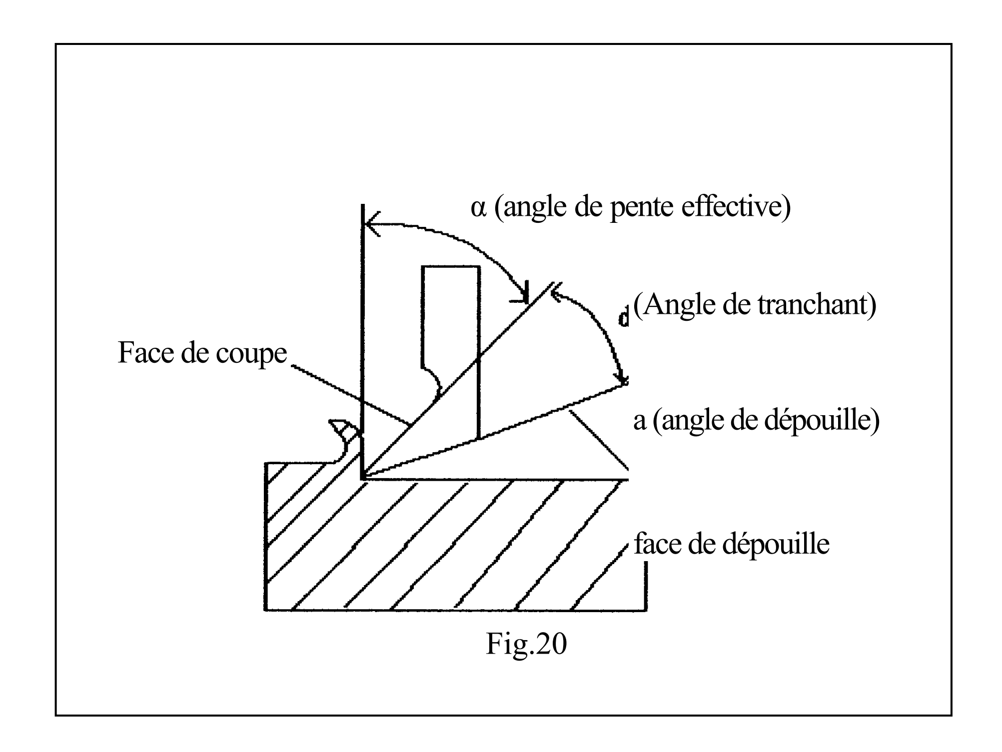


Fig.20

3.2.2. Expérimentation sur le tour (concernant la partie active) 1) Le vecteur vitesse de coupe *V* est tangent à la pièce en un point considéré de l'arête dEcoupe. Dans ce cas *V* est contenu dans la surface MNM'N'. On constate que la coupe est impossible, l'outil refuse de couper.

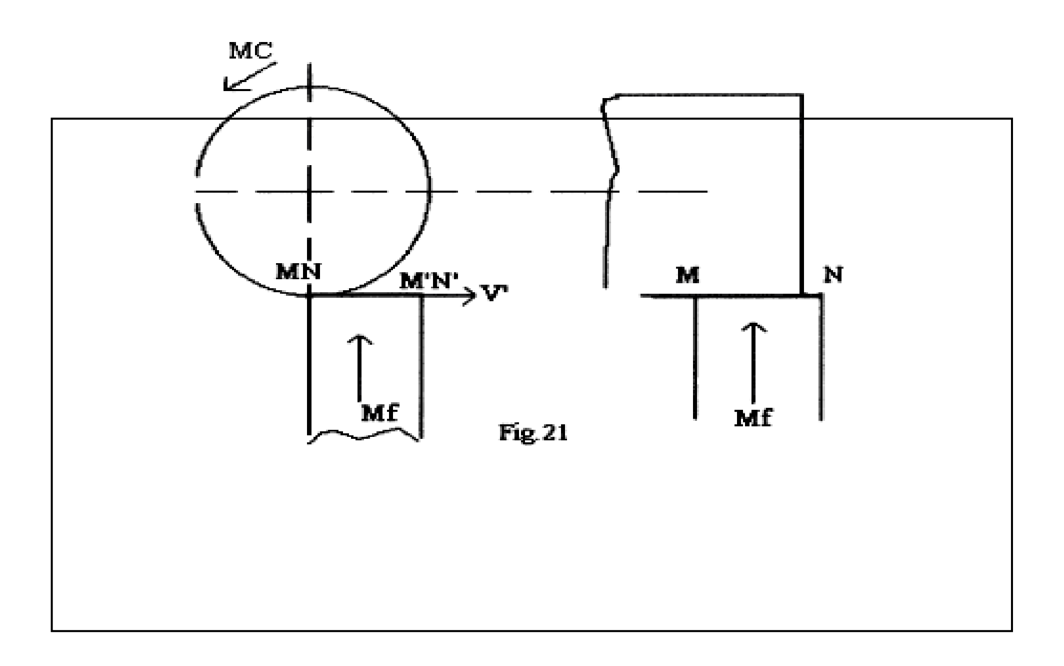


Fig.21

2) On utilise le même outil mais on affûte la surface MNM'N' de façon qu'elle ne contienne pas le vecteur *V*. La coupe devient alors possible, mais on constate que le frottement sur la couronne B est important.

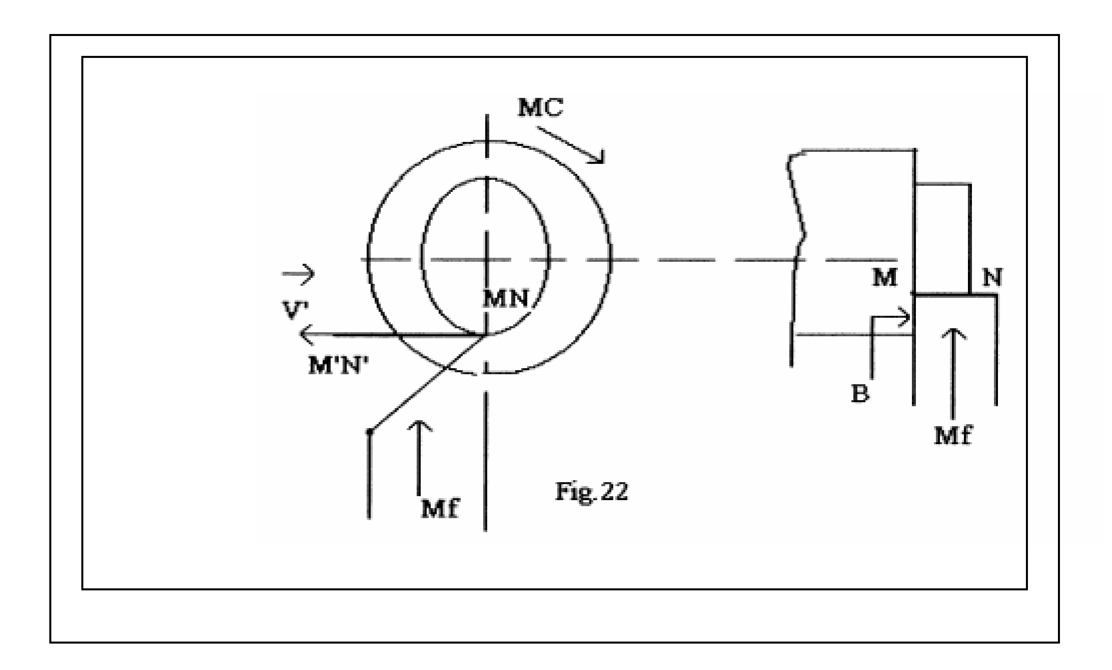


Fig.22

3) On dégage la surface latérale de l'outil, on constate que la coupe devient plus facile.

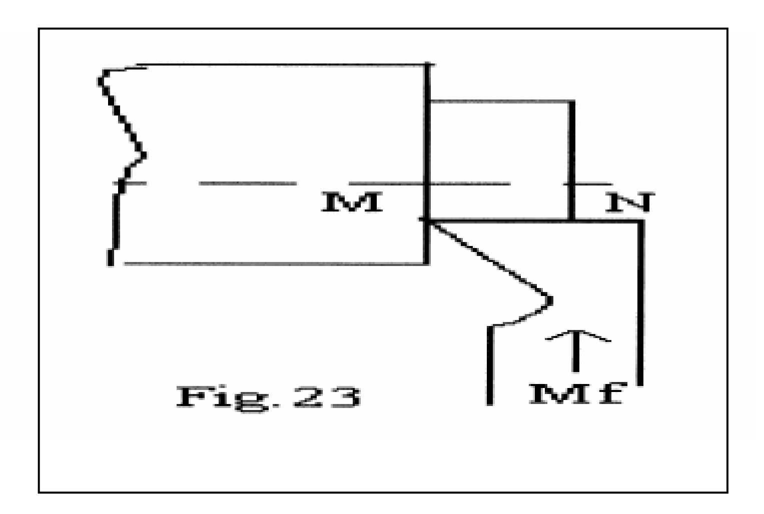


Fig. 23

3.3 Plans remarquables de l'outil

La production des copeaux s'effectue par la combinaison de trois déplacements (fig.24).

- Déplacement de coupe.
- Déplacement d'avance.
- Déplacement de profondeur.

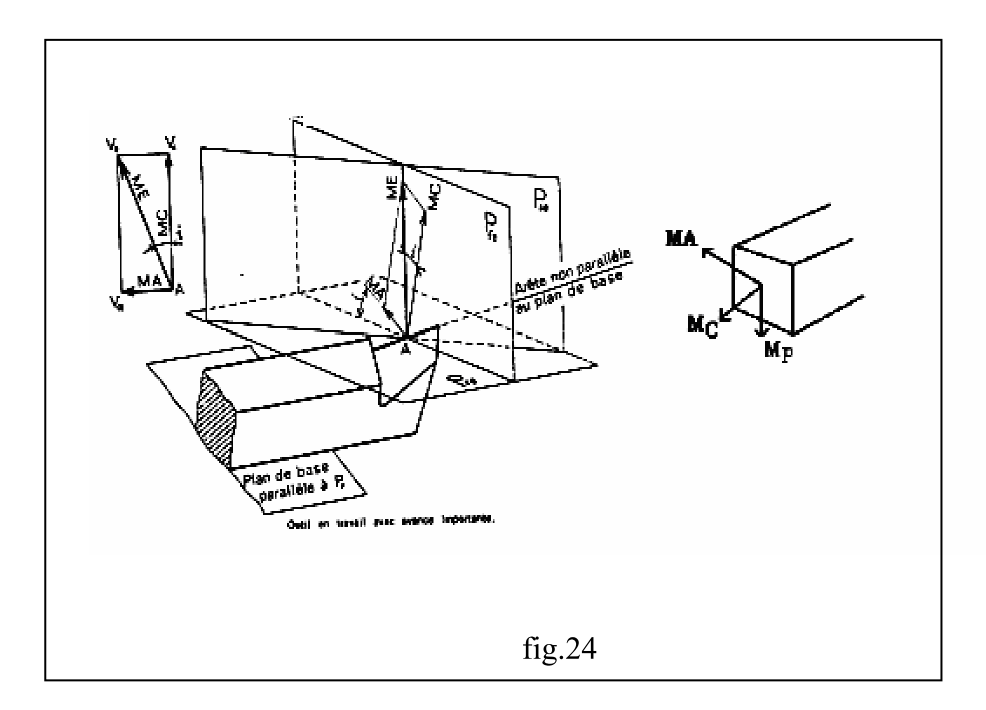


fig.24

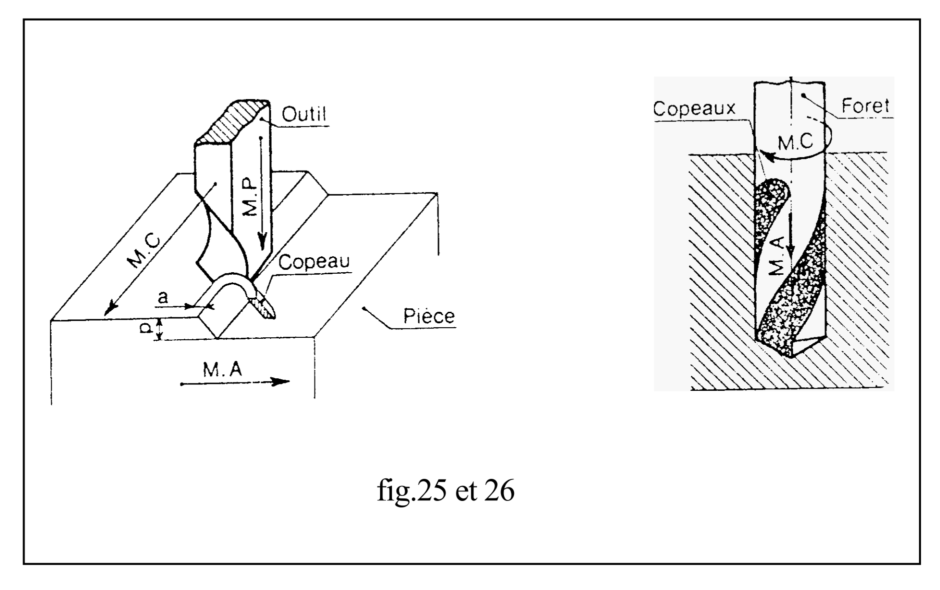


fig.25 et 26

Si on considère un point A de l'arête tranchante, les plans caractéristiques de l'outil en A sont fig.27.

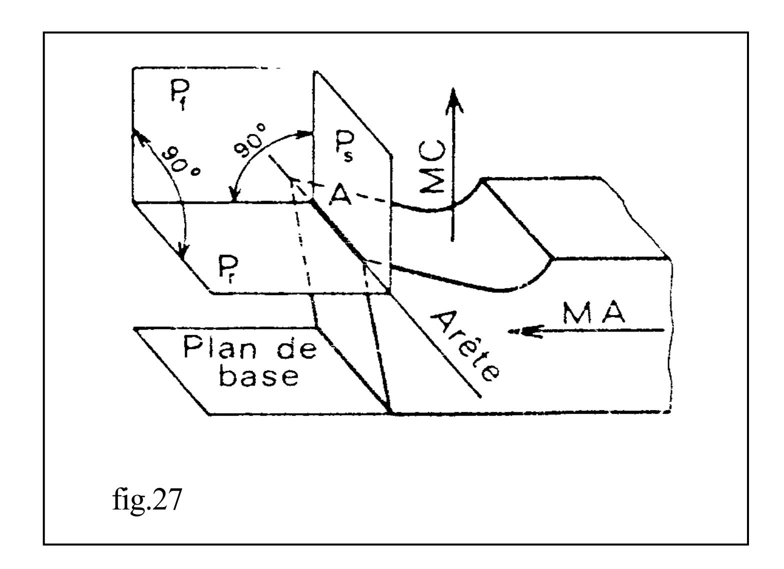


fig.27

Le plan de référence Pr

Il est parallèle au plan de base de l'outil et passe le point A considéré. Il est perpendiculaire au mouvement de coupe Me supposé c'est-à-dire au vecteur vitesse coupe Vc, il contient généralement le vecteur vitesse V_f.

PR $\perp$ ***Vc***

PR Contient Vf

Le plan de l'arête Ps de l'outil

Il contient l'arête de l'outil si elle est rectiligne, ou la tangente en A si celle-ci est curviligne:Il est perpendiculaire à Pr et contient *Vc*

PS contient l'arête

PS Ou sa tangente est perpendiculaire à Pr

PS contient *Vc*

La plan de travail conventionnel Pf

Contient le vecteur vitesse d'avance V_f et le vecteur vitesse de coupe perpendiculaire au plan de référence Pr.

Pf **Contient V_f, perpendiculaire à Pr, contient *V****

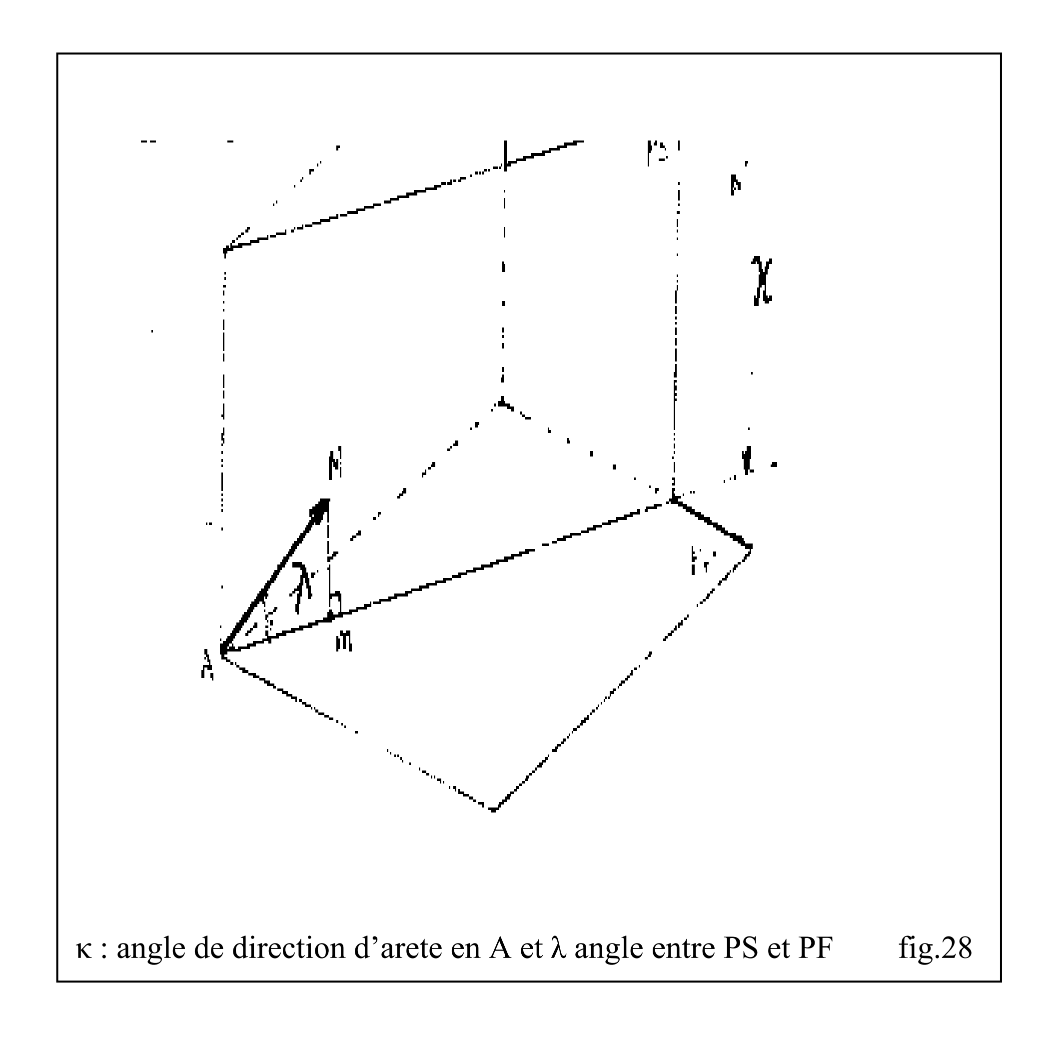
3.4. Angles caractéristiques de la partie active des outils

Ils sont définis à partir des plans remarquables et concernant deux aspects:

- Les angles caractérisant la position de l'arête.
- Les angles des faces de la partie active.

3.4.1. Angles caractérisant la position de rareté.

Ils sont appréciés au point A de



κ : angle de direction d'arete en A et λ angle entre PS et PF fig.28

*   L'angle aigu du dièdre formé par les plans de travail Pf et d'arête Pa s'appelle angle de direction d'arête au point A et est désigné par la lettre K (kappa). C'est aussi l'angle aigu formé par la projection de l'arête (ou de sa tangente) sur Pr avec *V*.

*   L'angle aigu que forme l'arête (ou sa tangente) avec sa projection sur le plan de référence Pr s'appelle angle d'inclinaison d'arête *X*.

3.4.2 Valeurs et sens des angles

L'angle peut atteindre 90°, il est orienté à gauche ou à droite.

Orientons l'outil suivant trois position. Dans les trois cas, seule la position de l'arête de coupe par rapport à *Vf* change; elle est repérée par un angle (fig.29).

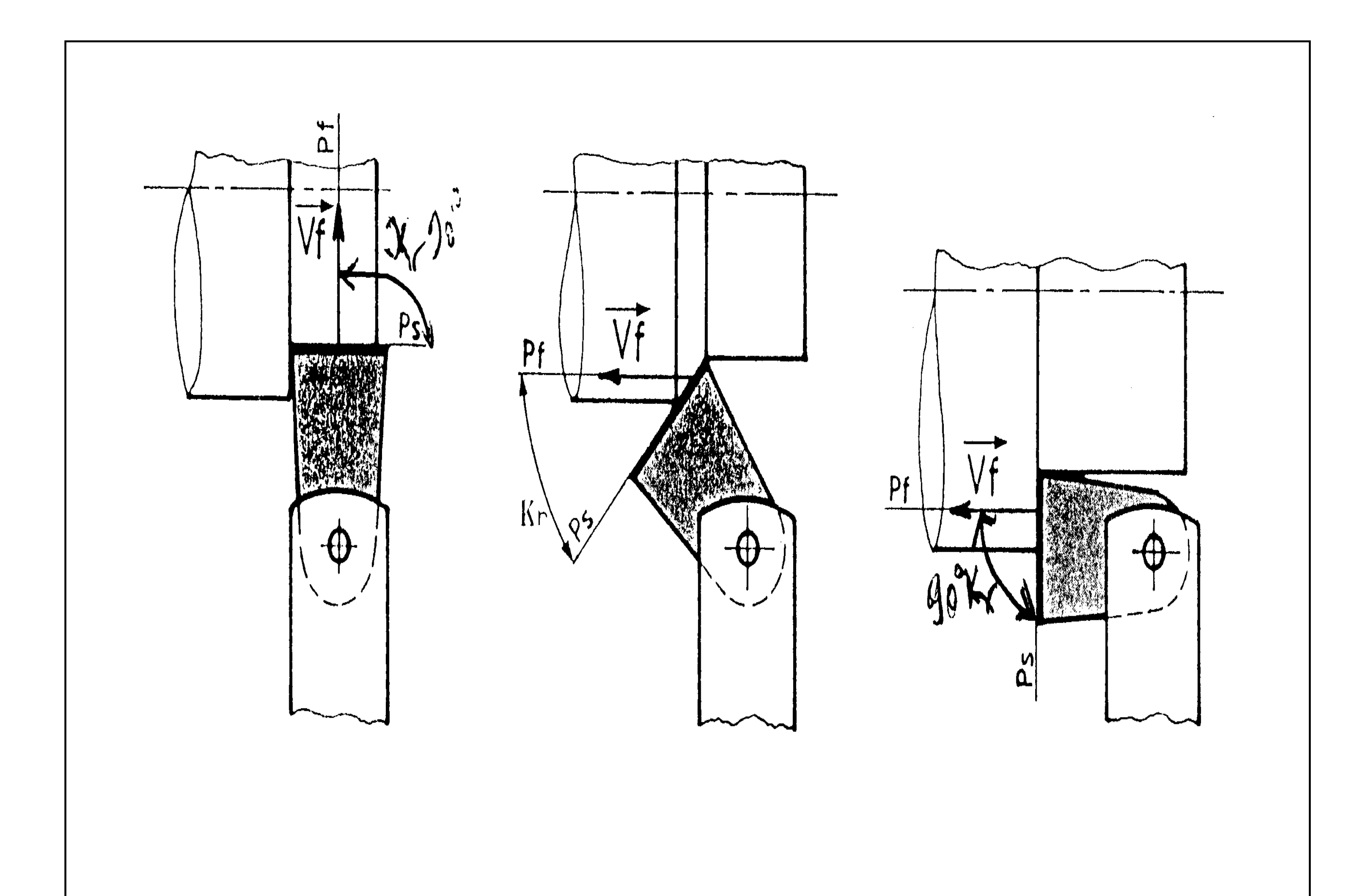


fig.29. Angle de direction d'arête de l'outil, symbole Kr (se prononce kappa); c'est l'angle des deux plans Pf et Ps mesuré dans Pr.

Définition partielle d'un outil

On précise:

- La valeur de l'angle Kr dans le cas d'un outil à charioter.
- Le sens de l'outil à droite ou à gauche en appliquant la règle: corps de l'outil vertical, partie active cers le bas, face de coupe en regard de l'opérateur; si l'arête de coupe est à droite l'outil est dit "à droite" et réciproquement (fig.30).

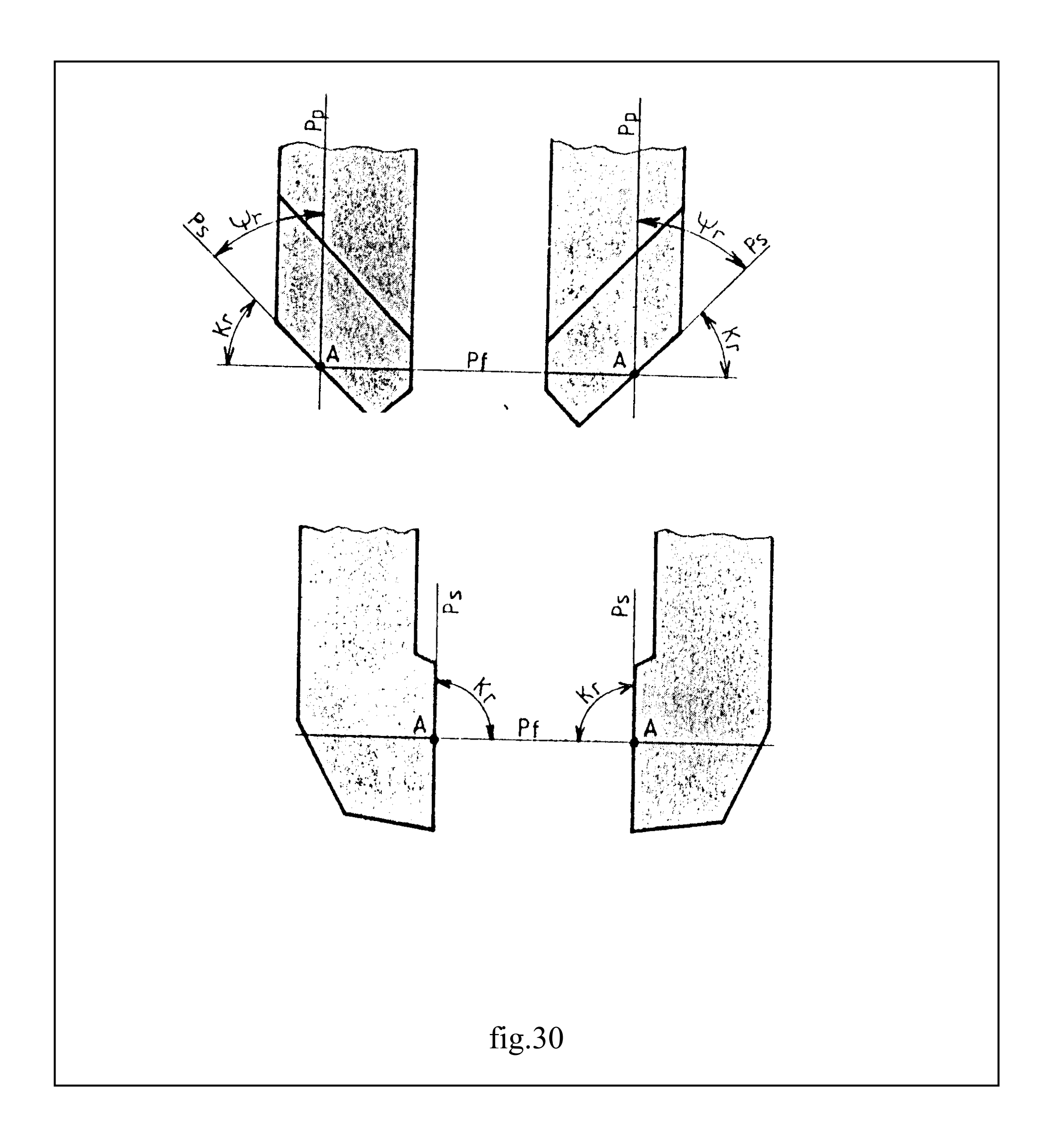


fig.30

Pour les outils à charioter il set utile de connaître la direction de l'arête par rapport à un plan perpendiculaire à la fois au plan de référence Pr et au plan de travail conventionnel Pf. Cette direction est caractérisée par l'angle \j/: angle de direction complémentaire ou d'orientation d'arête.

3.4.3 Angle d'inclinaison de l'arête de coupe

A) Observation. Les arêtes de coupe MN des trois outils (fig.31) sont inclinées différemment.

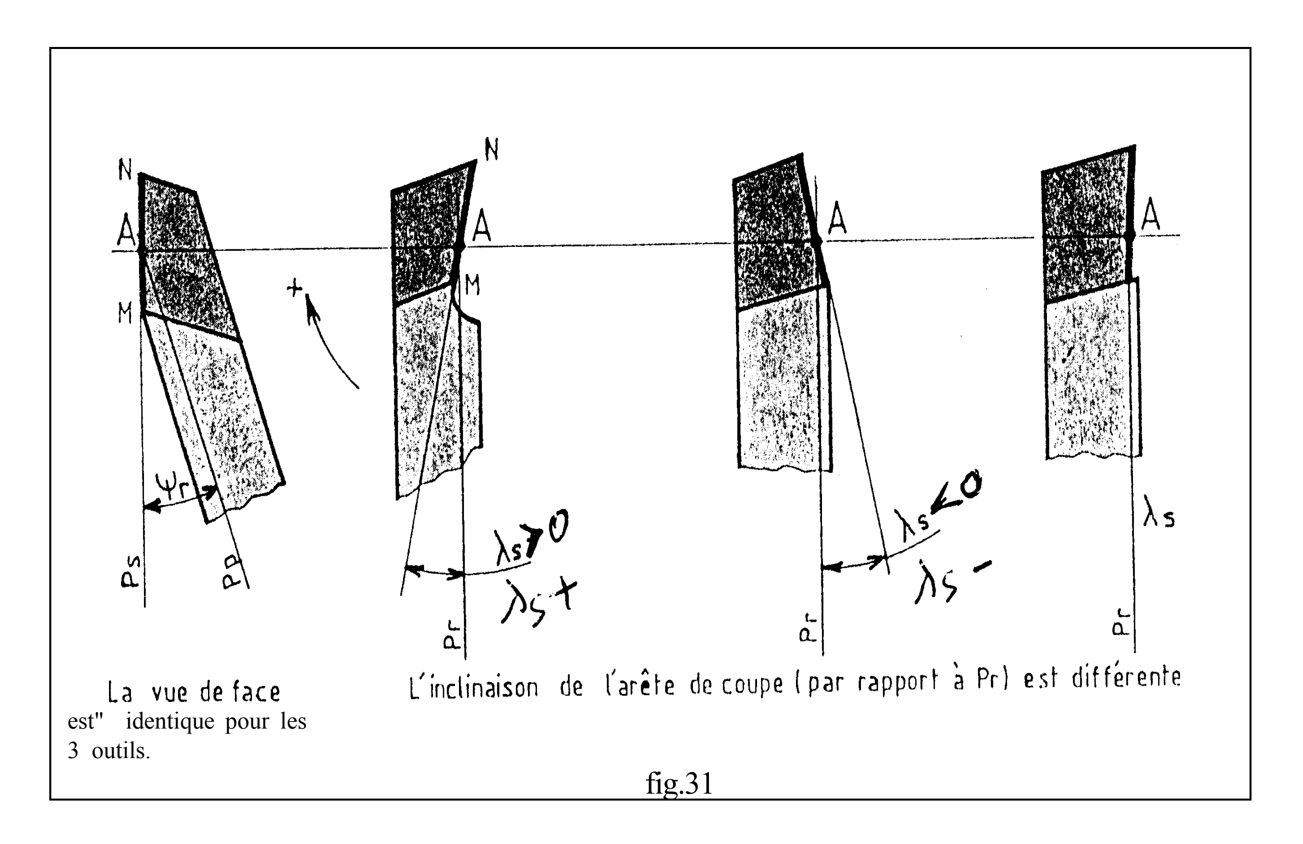


fig.31

B) Angle d'inclinaison de l'arête de coupe *Xs* (lambda): c'est l'angle que fait l'arête de coupe S avec le plan Pr, sa valeur est mesurée dans le plan Ps. Le sens des angles *Xs* est repéré à partir de Pr et du sens de rotation.

Il existe trois solutions: $\lambda s < 0$, $\lambda s > 0$, et $\lambda s = 0$

Conventions

$\lambda < 0$ outil à arête de coupe négative, notation λs-

$\lambda > 0$ outil à arête de coupe positive, notation λs+

$\lambda s = 0$ outil à arête de coupe normale, notation $\lambda s = 0$

En général

λs varie entre 0° et +15° et entre 0° et -15°

Le choix de X dépend du genre et du type de travail à effectuer. Un outil à arête de coupe négative présente un bec (zone au niveau de l'arête tranchante) plus robuste mais occasionne un frottement su copeau sur la surface usinée. En finition les efforts appliqués sont très inférieurs, le copeau ne doit pas frotter sur la pièce, le bec peut être moins résistant: on adopte une arête de coupe positive.

Si $\lambda s < 0$

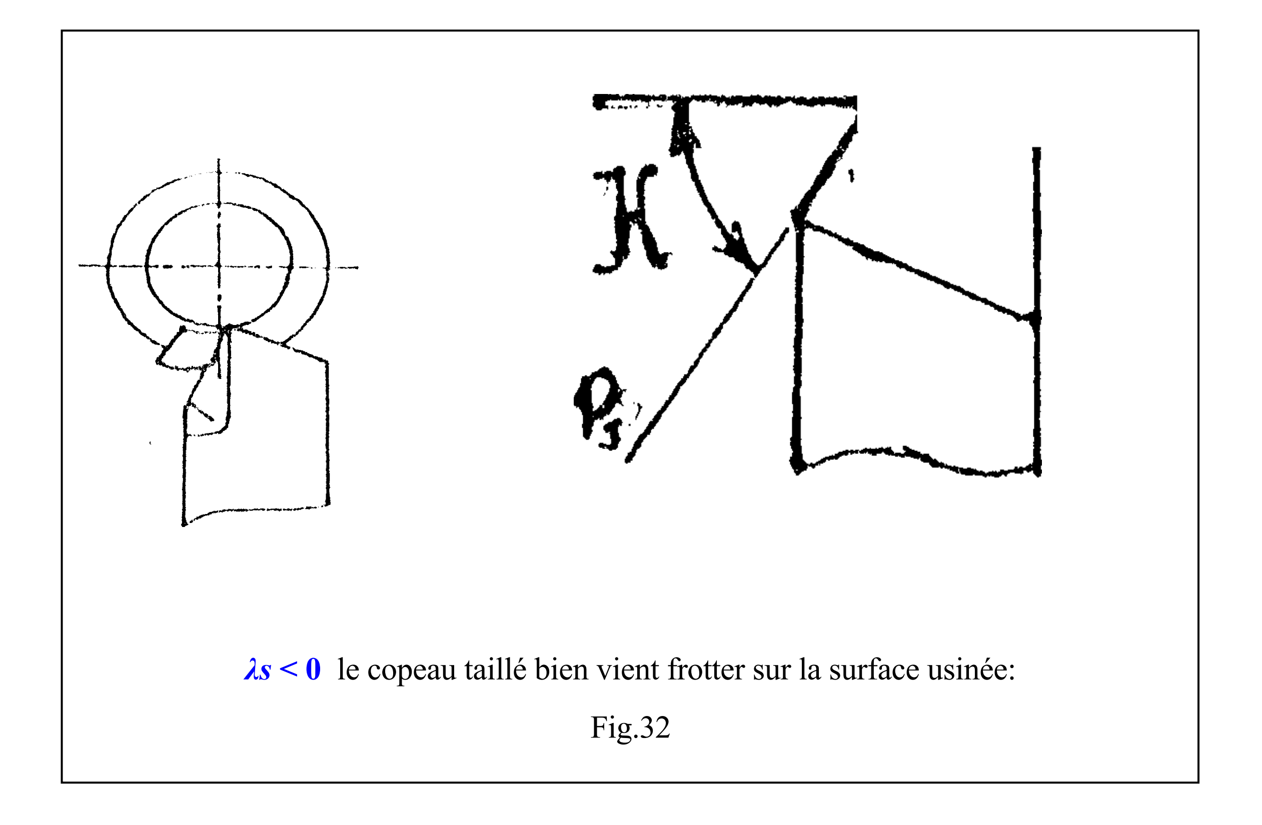
-► réservé à l'ébauche ou

-► travail avec chocs (rabotage, fraisage ... ; évite l'écaillage du bec).

Si $\lambda s > 0$ ----- ► travaux de finition, (attention bec plus fragile).

Direction prise par le copeau

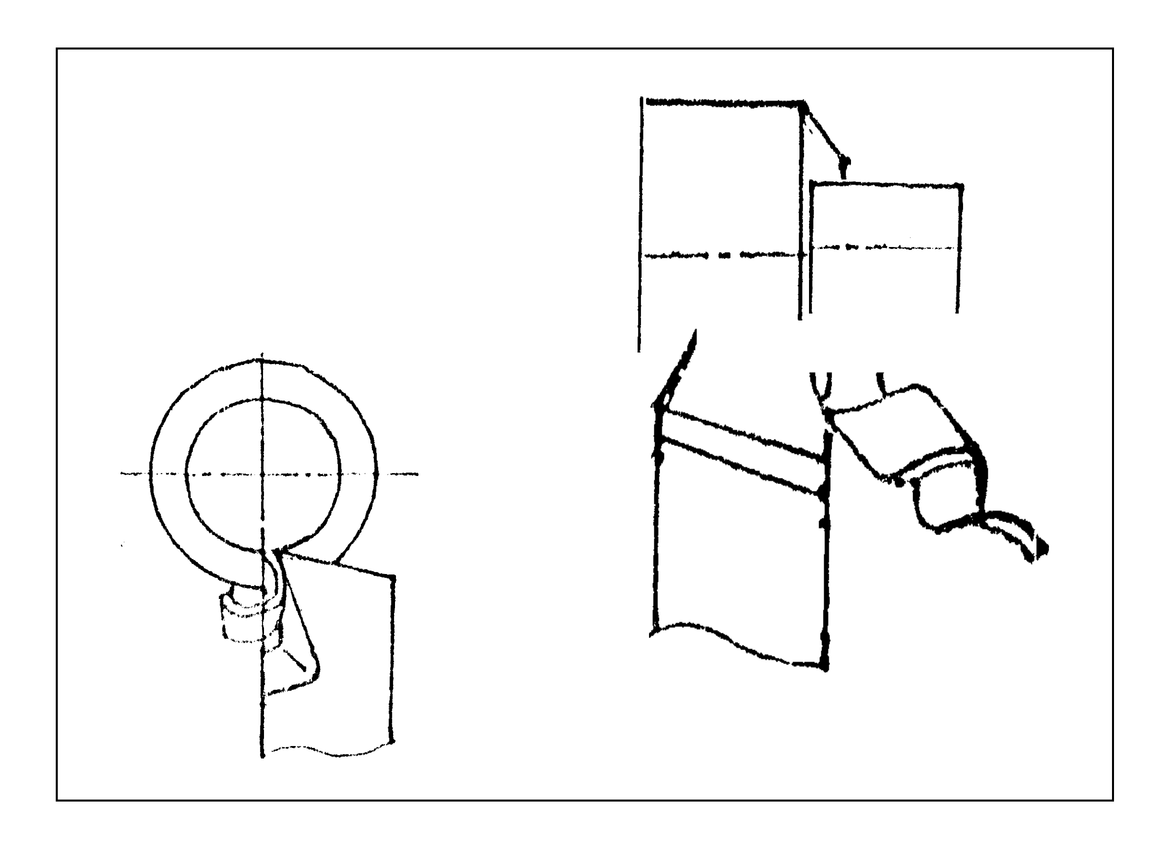
Le copeau se déroule ver la pièce et l'effort de coupe F en direction des appuis autorise de grandes sections de copeau et une vitesse de coupe élevée. Disposition favorable d'ébauche à grand débit.



$\lambda s < 0$ le copeau taillé bien vient frotter sur la surface usinée:

Fig.32

Le copeau se déroule vers l'opérateur s'éloignant de la face engendrée sur la pièce. Convient aux faibles vitesses de coupe et aux faibles sections de copeau du travail.



$\lambda s > 0$ le copeau taillé s'éloigne de la surface usinée.

fig.33

3.4.4 Angles des faces de la partie active

(Angle de coupe, de dépouille, de taillant)

La position de l'arête étant définie il est nécessaire de préciser la position des faces la déterminant. Pour ce, nous effectuons une coupe par plan de section transversal à l'arête au point A.

Cas général

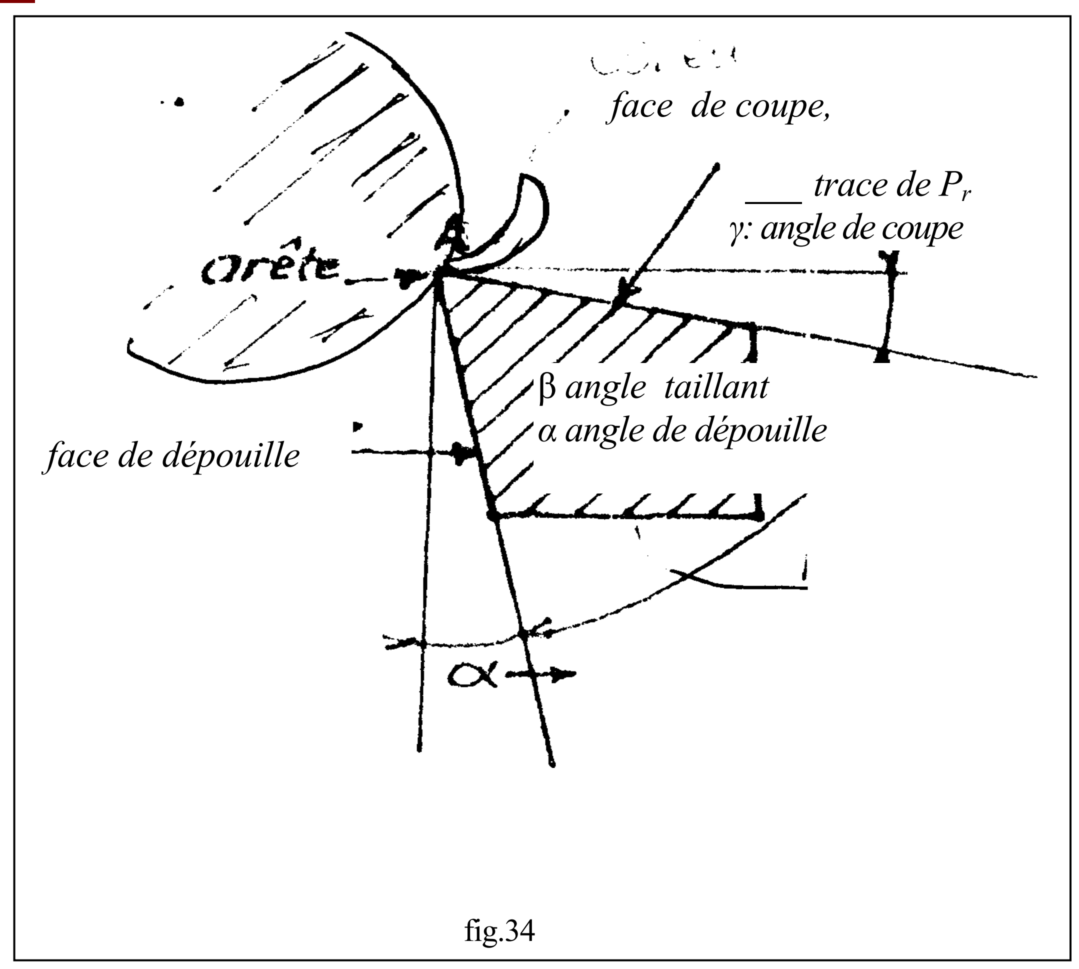


fig.34

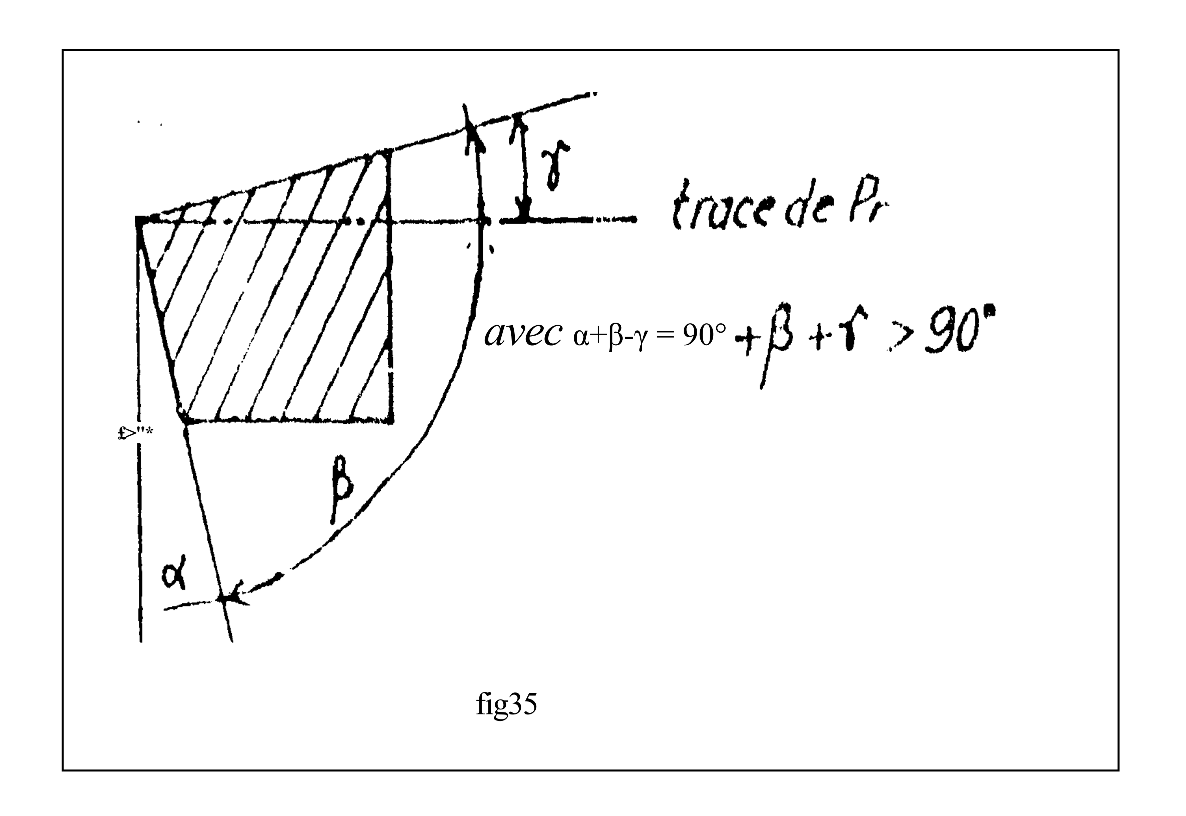
α: angle de dépouille: caractérise la position de la face de dépouille. Toujours positif.

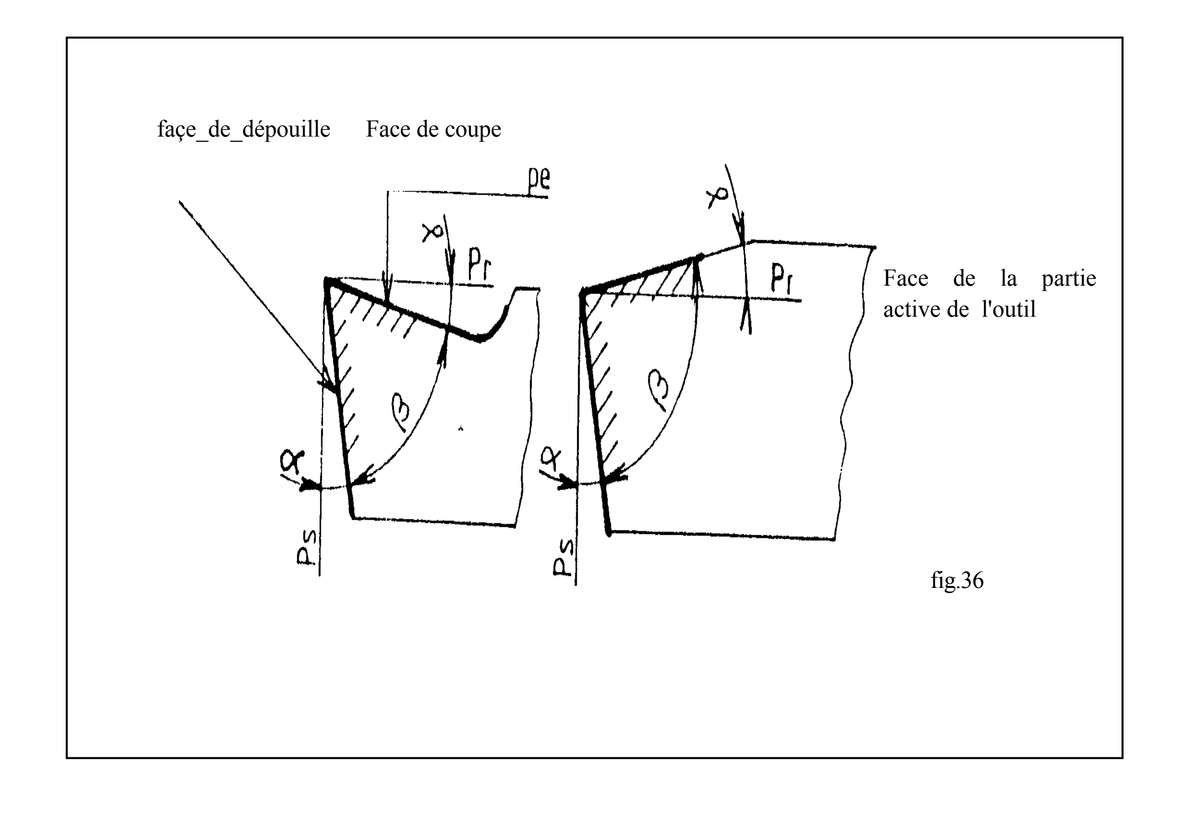
β: angle de taillant caractérise la position relative des faces de dépouille et de coupe, toujours positif.

γ: angle de coupe caractérise la position de la face de coupe de l'outil, angle qui peut être à coupe positive ou négative.

L'outil représenté en cas général est dit à coupe positive et nous avons : $\alpha+\beta+\gamma = 90°$

$\gamma > 0$ ou $\gamma < 0$. L'outil ci-dessous est à coupe négative


γ
trace de Pr
avec α+β-γ = 90° +β +γ > 90°
β
α
fig35


façe_de_dépouille
Face de coupe
pe
γ
Pr
β
α
Ps
γ
Pr
Face de la partie active de l'outil
β
α
Ps
fig.36

Suivant les plans de coupe, les angles sont appelés: orthogonaux, normaux, latéraux etc.. il existe cinq positions normalisées du plan de section transversale donnant cinq systèmes.

1. Le système des angles orthogonaux: le pian de section est perpendiculaire au plan de référence Pr et au pian d'arête Ps.

αo angle de dépouille orthogonal
βo angle de taillant orthogonal
γo angle de coupe orthogonal.

2. Le système des angles normaux: le pian de section est perpendiculaire à l'arête coupante.

αo angle de dépouille orthogonal ,βo angle de taillant orthogonal et γo angle de coupe orthogonal.

3. le système des angles directs d'affûtage: le plan de section est perpendiculaire au plan de référence Pr et il contient soit la droite de plus grande pente (DPGP) de face de dépouille soit celle de la face de coupe.

- Plan perpendiculaire à Pr contenant la DPGP de la face de dépouille.

- αa angle de dépouille direct d'affûtage.
- φa angle de référence de la face de dépouille par rapport à l'orientation d'arête ψ.

-Plan perpendiculaire à Pr contenant la DPGP de la face de coupe.

. γc angle de coupe direct d'affûtage.

. φc angle de référence de la face de coupe par rapport à l'orientation d'arête ψ .

4. le système des angles latéraux : le plan de section est le plan de travaille conventionnel pf.

. αf angle de dépouille latéral. .

. γf angle de coupe latéral

5. le système des angles vers l'arrière : le plan de section est perpendiculaire au plan de travail conventionnel pf et au plan de référence Pr.

αp angle de dépouille vers l'arrière. γp angle de coupe vers l'arrière.

Lois de coupe de métaux

Une étude expérimentale systématique a permis d'établir le comportement des divers matériaux à outils pour des valeurs diverses des angles y et a en fonction des matières à façonner.

1. Le copeau se détache d'autant plus aisément qu'il se présente tangentiellement à la face d'attaque c'est-à-dire lorsque y est plus grand.

2.L'arête coupante se détériore d'autant plus rapidement que l'angle de coupe y est plus grand ceci en raison du mauvais dégagement de la chaleur et à se disperser dans le corps de l'outil. Cette chaleur se concentre dans les parages immédiats de l'arête de coupe au point de provoquer une diminution sensible de sa dureté.

3. Plus le matériau à outil est dur et tenace, plus l'angle y peut être augmenté.

4. Plus la matière à travailler est dure, plus l'angle y doit être réduit.

3.4.5.Relation entre les angles caractéristiques de la partie active des outils

Nous nous bornerons, à titre de documentation, à donner les résultas faciles à établir par trigonométrie.

Relations intéressant la face de coupe.

1. $tg\gamma_0 = tg\gamma_c \times \cos\varphi_c$ ou $\cot\gamma_c = \cot\gamma_0 \times \cos\varphi_c$

2. $tg\varphi_c = \dfrac{tg\lambda}{tg\gamma_0} = tg\lambda \times \cot\gamma_0$

Relations intéressant la face de dépouille

3. $\sin\varphi_a = tg\,\alpha_a \times tg\,\lambda$

4. $tg\,\alpha_a = tg\,\alpha_0 \times \cos\varphi_a$

5. $\cos\alpha_0 = \cos\alpha_a \times \cos\varphi_a$

Relations entre les angles orthogonaux et les angles normaux.

6. $\text{tg}\, \delta_n = \text{tg}\, \delta_0 \times \cos \lambda$

7. $\text{tg}\, \alpha_n = \text{tg}\, \alpha_0 \times$

8. $\cos \lambda = \text{tg}\, \alpha_0 \times \cot \alpha_n = \cot \delta_0 \times \text{tg}\, \delta_n$

Relations entre les angles latéraux et vers l'arrière et les angles directs d'affûtage.

9. $\cot \alpha_r = \cot \alpha_a \times \sin (K - \varphi_a)$

10. $\text{tg}\, \delta_r = \text{tg}\, \delta_c \times \sin (K - \varphi_c)$

11. $\cot \alpha_p = \cot \alpha_a \times \cos(K - \varphi_a)$

12. $\text{tg}\, \alpha_p = \text{tg}\, \delta_c \times \cos(K - \varphi_c)$

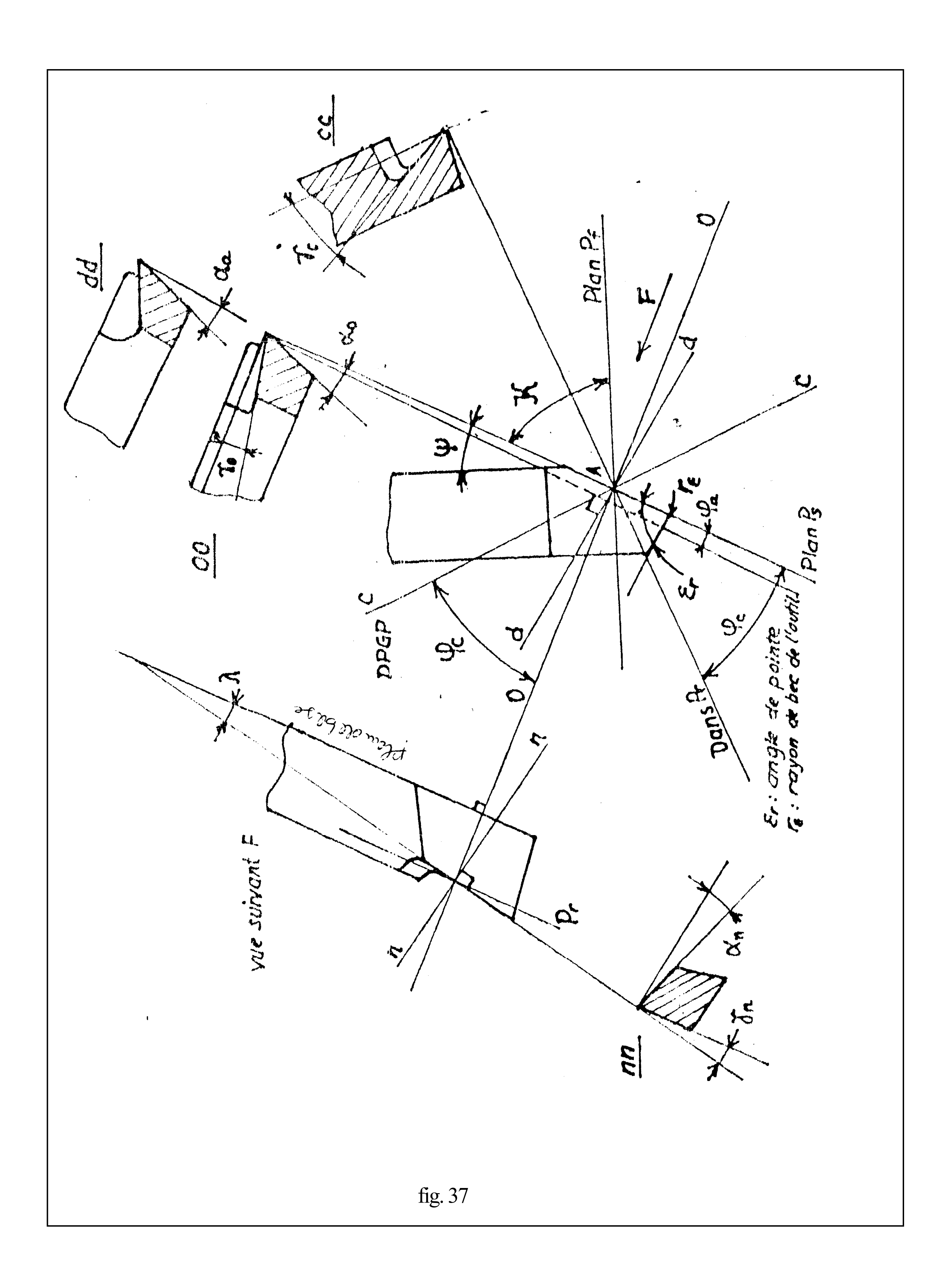

cc
dd
oo
nn
Plan Pf
Plan Ps
DPGP
Dans Pr
vue suivant F
Er : angle de pointe
rε : rayon de bec de l'outil

fig. 37

Angles de coupe et de dépouille

Nature métal à usiner \ Nature outil / angle	Acier rapide	Plaquette	Acier rapide	Plaquette
	coupe latérale γ		dépouille latérale α_f	
Fonte aluminium	20-30	10-20	12-14	8-10
Fonte douce HB 170	12-18	6-12	8-10	6-8
Fonte dure HB 400	5-10	0-5	7-9	5-7
Acier XC 18	15-25	8-15	9-11	6-8
Acier 100 C 6	10-15	4-8	8-10	6-8
Acier 25 CD 4	8-14	3-7	6-8	4-6

Matières usinées	Outil en acier rapide		
	Angles de		
	dépouille $\alpha°$	taillant $\beta°$	coupe $\gamma°$
Aciers R daN/mm²			
R ≤ 50	6	54	30
R = 50 à 65	6	64	20
R = 65 à 100	6	74	10
R = 100 à 140	6	74	10

Matières usinées	Outil en acier rapide		
	Angles de		
	dépouille $\alpha°$	taillant $\beta°$	coupe $\gamma°$
Fonte grise	6	64	20
Aluminium	8	52	30
Cuivre	6	44	40
Bronze	6	64	20
Laiton	6	79	5

4.Types des outils de tournage

4.1 Principe de tournage.

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme c'est le mouvement de coupe Me. L'outil est animé d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation c'est le mouvement d'avance Mf.

Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice qui transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution tels que cylindre, cône, sphère, etc. fig.38

Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage.

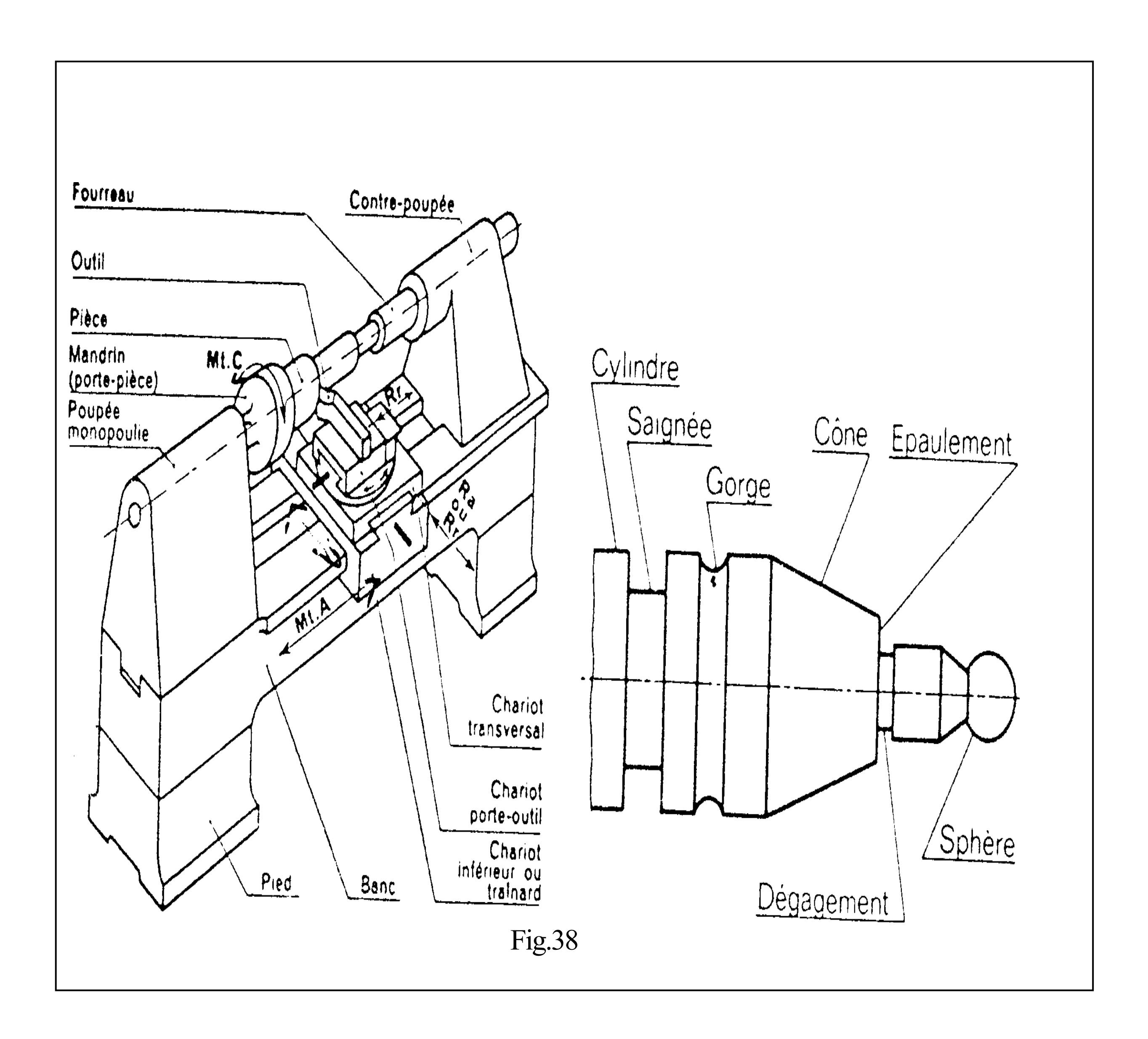
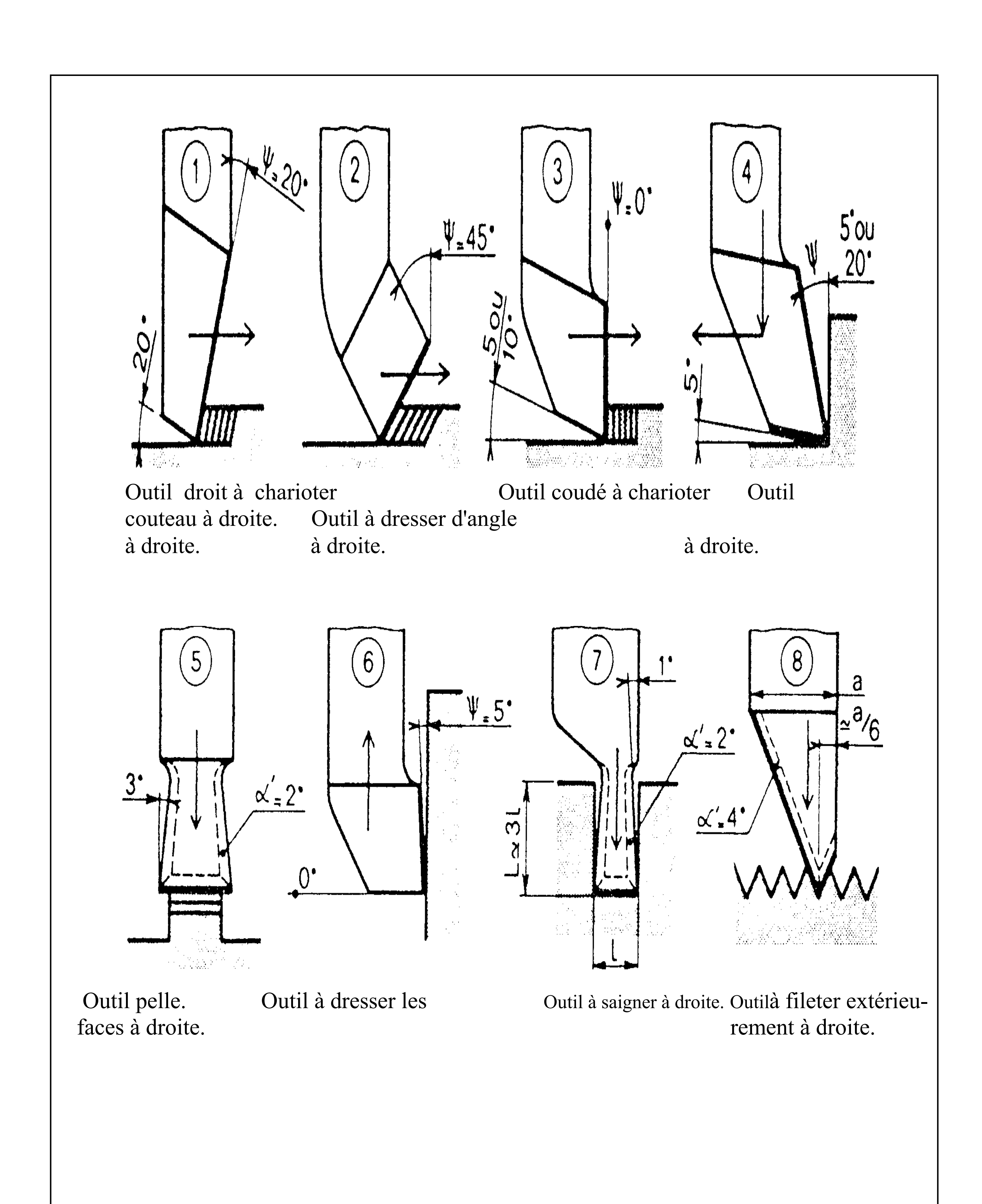


Fig.38

4.2. Outil couteau et outil à dresser d'angle

Lorsque la surface présente un épaulement, il est nécessaire de supprimer la partie inclinée ou tronconique laissée par l'outil à charioter. L'outil couteau peut convenir si l'épaulement est peut profond. Dans le cas contraire, l'outil à dresser d'angle permet la coupe dans deux directions rectangulaires fig.39.



Outil droit à charioter couteau à droite. à droite.

Outil à dresser d'angle à droite.

Outil coudé à charioter

Outil à droite.

Outil pelle.

Outil à dresser les faces à droite.

Outil à saigner à droite.

Outilà fileter extérieurement à droite.

fig.39 Formes d'outils d'extérieur courant.

4.3. Outils de surfaçage au tour

La réalisation d'une surface d'extrémité perpendiculaire à l'axe est dite **surfaçage au tour. L'outil pelle** ou **l'outil à dresser les faces** ou encore **l'outil coudé à charioter** sont indifféremment utilisés.

4.4. Outil à saigner on à tronçonner

Saigner ou tronçonner, c'est détacher un tronçon .Une saignée limitée en profondeur est une gorge. La partie active de l'outil à saigner est de faible largeur et présente deux dépouilles secondaires latérales.

4.5. Outil à fileter extérieurement

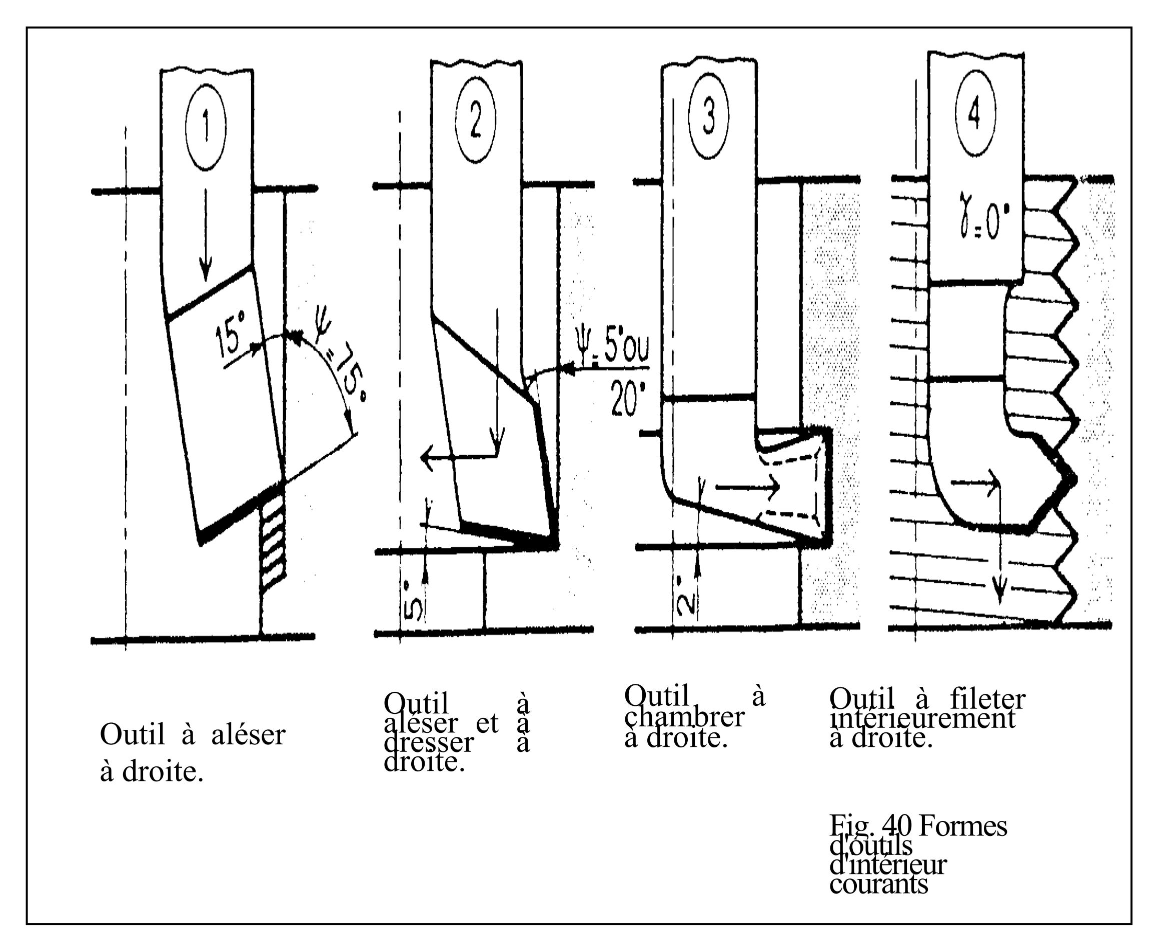
L'outil est adapté au profil de la gorge hélicoïdale qui constitue le filetage. Sa pénétration se poursuit par passes successives

4.6. Outil à aléser

Aléser, c'est exécuter une forme de révolution intérieur. L'outil à aléser doit donc Pouvoir pénétrer dans l'alésage.

4.7. Outil à aléser et à dresser

Lorsque le fond de l'alésage présente un épaulement, la partie tronconique laissée par **l'outil** à aléser est supprimée par un raccordement longitudinal, puis un dressage Transversal à l'aide de **l'outil** à aléser et à dresser.



Outil à aléser à droite.

Outil à aléser et à dresser à droite.

Outil à chambrer à droite.

Outil à fileter intérieurement à droite.

Fig. 40 Formes d'outils d'intérieur courants

4.8. Outil à chambrer

La partie active est identique à celle de l'outil à tronçonner mais il faut remarquer que la face de dépouille est curviligne pour **éviter le frottement du talon de l'outil** sur la gorge façonnée. l'angle de dépouille a est donc former par la tangente T au cercle du fond de la rainure et par la tangente T à la surface curviligne de dépouille au même point de l'arête coupante.

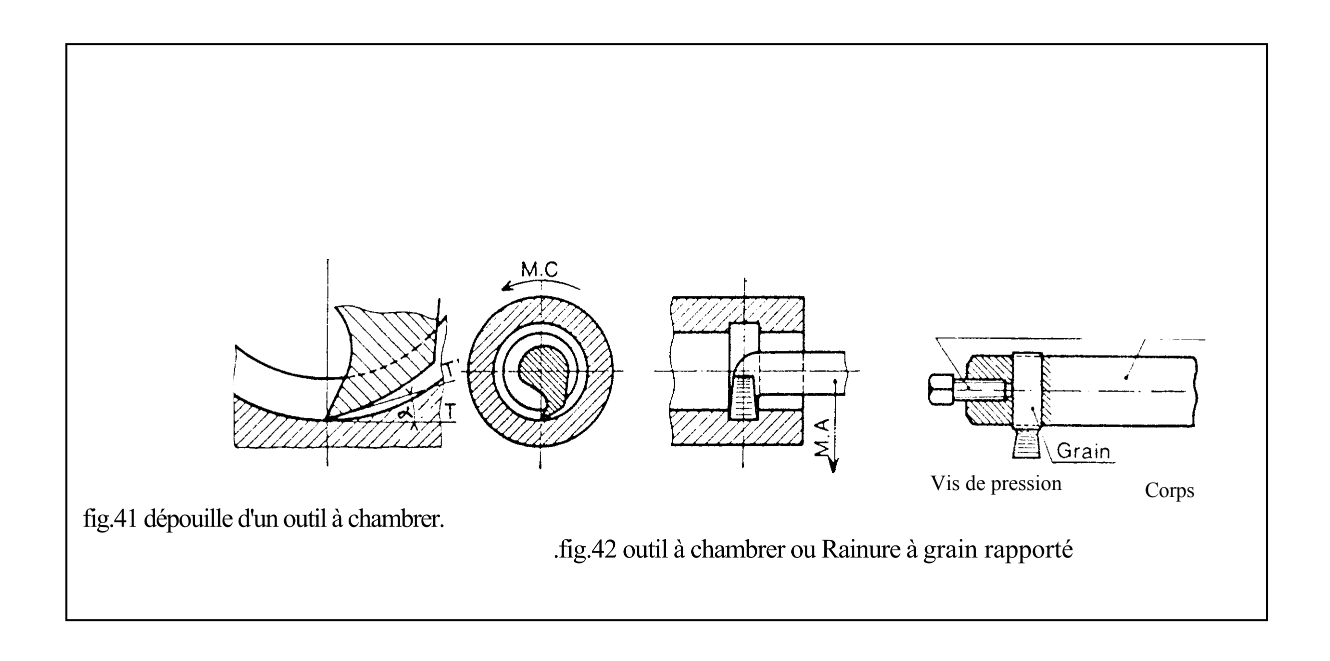


fig.41 dépouille d'un outil à chambrer.

.fig.42 outil à chambrer ou Rainure à grain rapporté

5.Formes des outils de coupe pour tournage

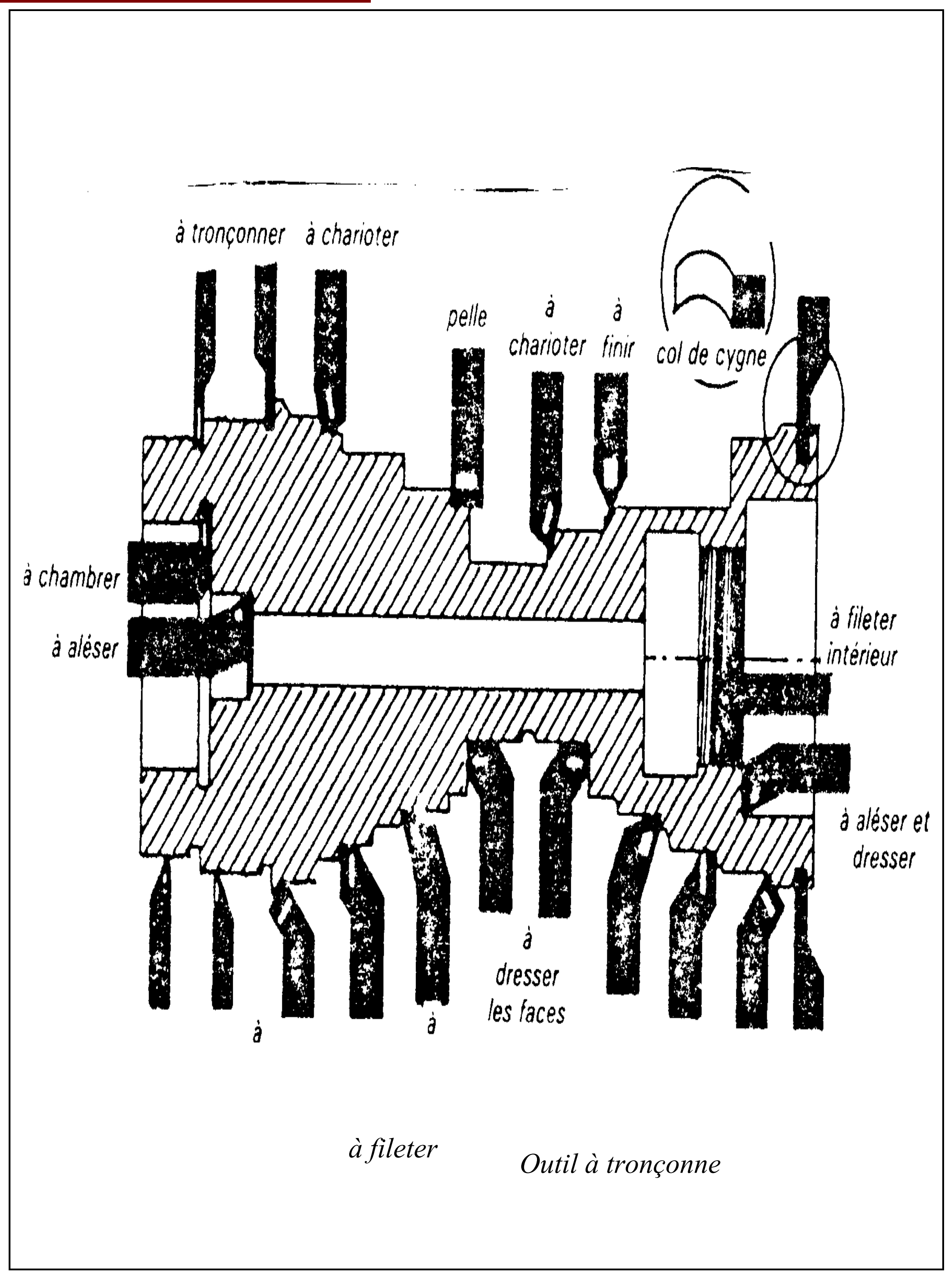


fig.43

5.1Pardéplacementdel'outil

a) Déplacement longitudinal

Le chariotage donne une surface latérale cylindrique, l'alésage une surface intérieure cylindrique ou chambrage.

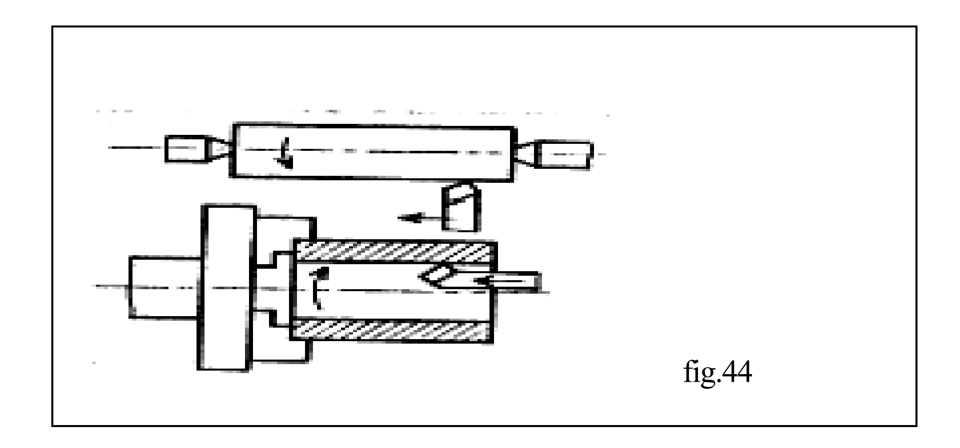


fig.44

b) Déplacement transversal Le dressage donne des surfaces planes perpendiculaires à l'axe, extérieures ou intérieures.

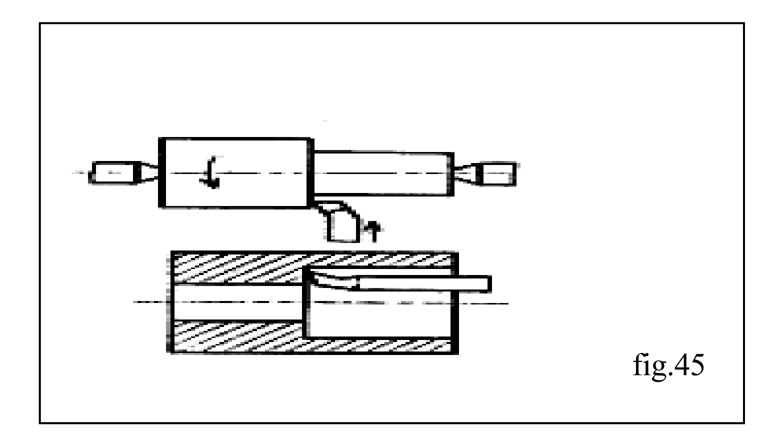
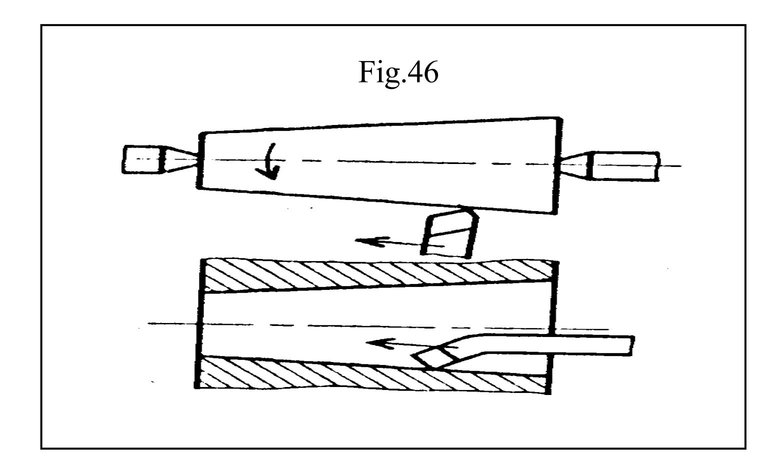


fig.45

c) Déplacement oblique

On obtient des surfaces coniques extérieures ou intérieures.

Fig.46



d) Déplacement combiné En déplaçant l'outil simultanément dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, on peut obtenir des surfaces sphérique, extérieures ou intérieures, des surfaces toriques et d'une façon générale des surfaces de révolution quelconques, la vérification de la surface s'effectue avec un gabarit.

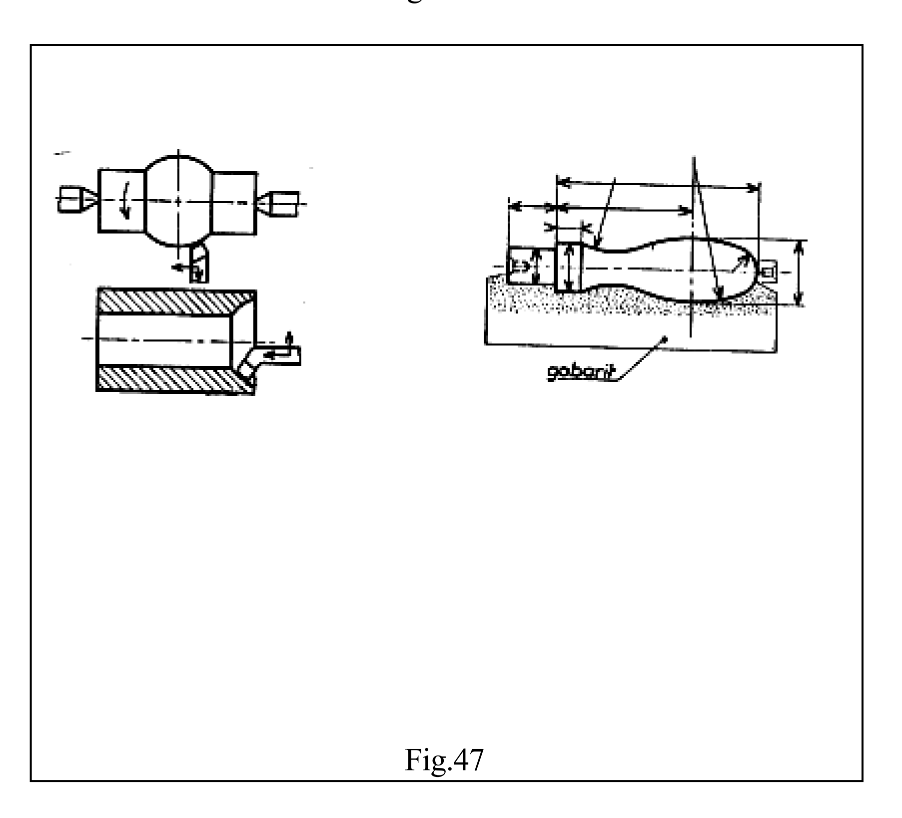


Fig.47

5.2 Par la forme de l'outil

a) filetage est taraudageL'outil, dont le déplacement est longitudinal, creuse sur la pièce des rainure hélicoïdales laissant leur relief le filet, suivent la forme de l'outil on obtient un filet triangulaire, trapézoïdale, rond, carré.

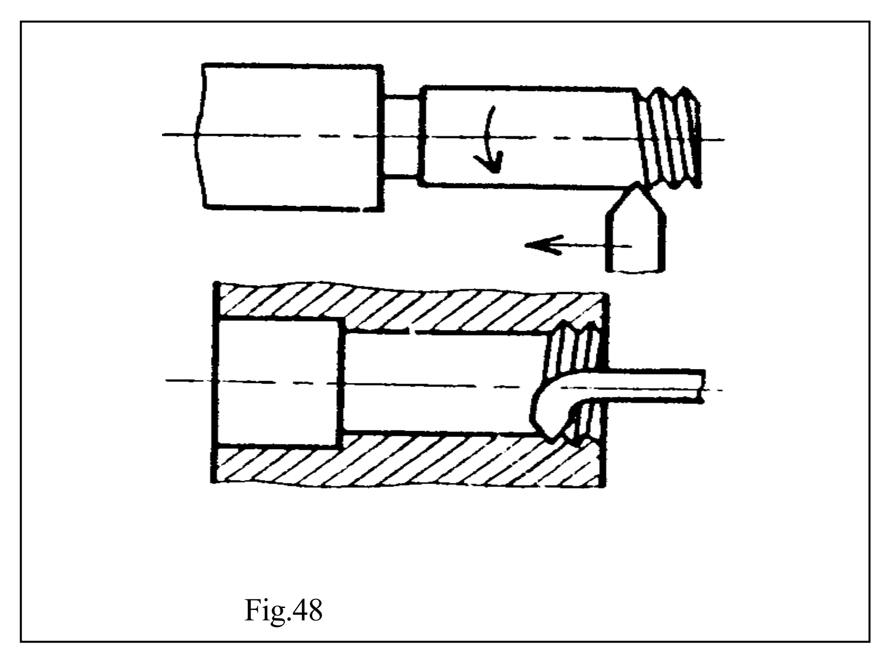


Fig.48

b) Arrondis, congés, gorges, chanfreins, moletage, existe pour cela des outils spéciaux.

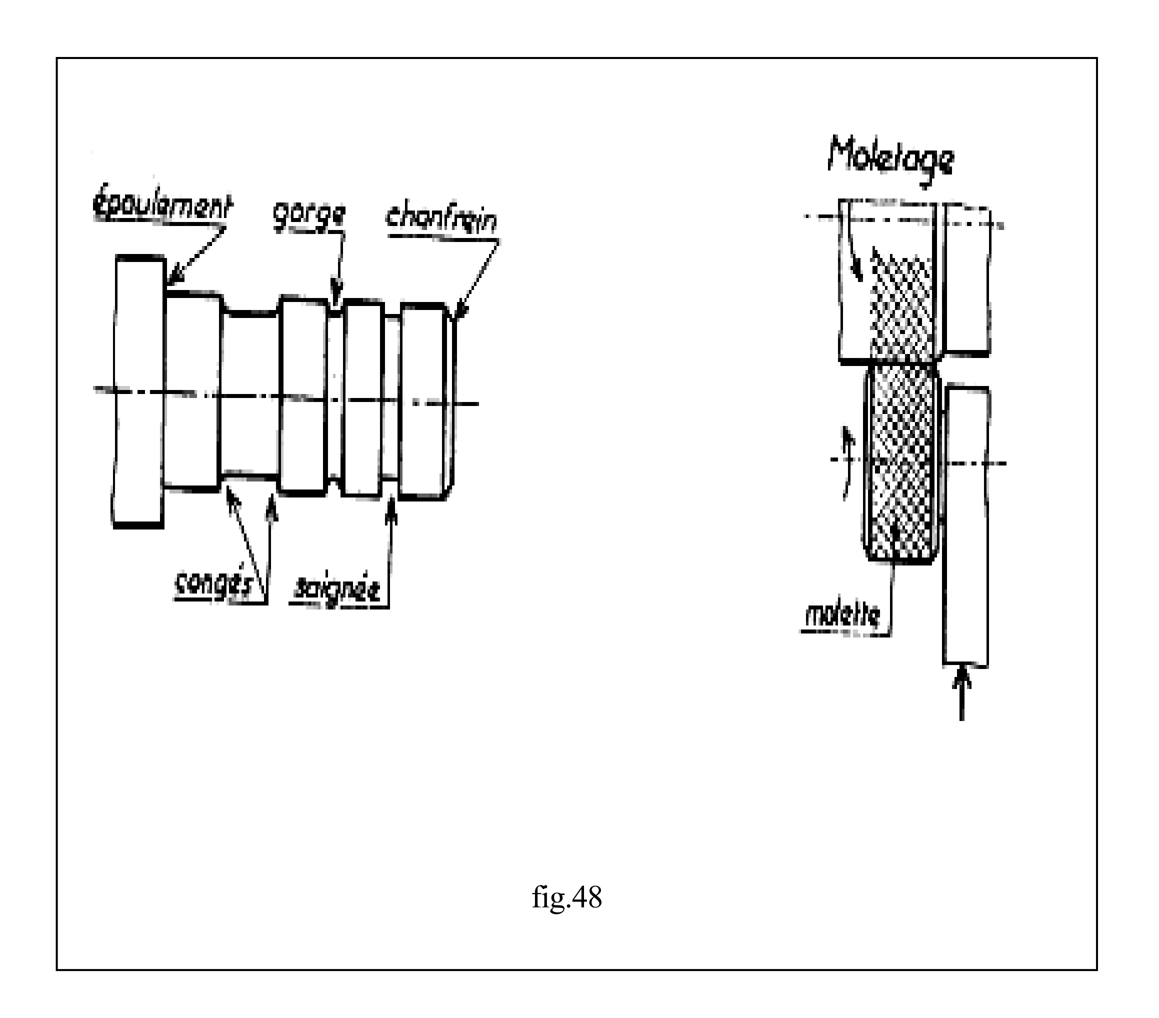


fig.48

6. Eléments de coupe en tournage

Chariotage avec outil en carbure des aciers non alliés faiblement alliés et des fontes grises.

Aciers	**Résistance à la rupture N/nim²**	**Conditions de coupe**			**Outil carbure (plaquette à jeter)**				**Tour**
		Prof. de passe *a* (mm)	Avance / (mni/tr)	V. de coupe m/min durée d'outil 30à45mn	Nuance 1SO	Angle découpe (degré)	Rayon de bec (mm)	Section du corps de l'outil (mm x mm)	Puissance
Recuit	< 400	0,2 à **1**	0,1 à 0,2	280 à 270	P20		0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	270 à 180	P30		0,8	16 x 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	180 à 130	P40		1,6	25 x 25	20 à 35
Recuit	400 *h* 600	0,2 à 1	0,1 à 0,2	260 à 250	P 10	14	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	250 à 160	P20	14	0,8	**16** x 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	160 à 120	P 30	14	1,6	25 x 25	20 à 30
Recuit	600 à 750	0,2 à **1**	0,1 à 0,2	200 à 190	P 10	6	0,2	12 x 12	< 3
		1 a 4	0,2 à 0,4	1 90 ù 1 30	P2Û	6	0,8	16 x 16	3 à 15
		4 à 8	0,4 à 0,8	130 à 90	P 30	12	1,6	25 x 25	1 5 à 30
Trempé revenu	750 à 900	0,2 à 1	0,1 à 0,2	180 à 170	P 10	6	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	1 70 fl 1 20	P20	6 '	0,8	16 x 16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	120 à 80	P30	12	1,6	25 x 25	10 à 30
Trempé revenu	900 à **1** 100	0,2 à **1**	0,1 à 0,2	170 à l o i !	P 10	0	0,2	**12** x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	160 à ; i 5	P 10	6	0,8	16 x **16**	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	115 à ^5	P20	6	1,6	25 x 25	10 à 30
Trempé recuit	**1** 100 à 1 300	0,2 à 1	0,1 à 0,2	160 à 150	P01	0	0,2	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	150 à 100 j	P 10	6	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	100 à 65 :	P 20	6	1,6	25 x 25	10 à 20
Trempé revenu	1 300 à 145	0,2 à 1	0,1 à 0,2	1 10 à 105	P 01	0	0,2	12x12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	105 à 75	P 10	0	0,8	16 x 16	2 à 8
		4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 50	P :u ■	6	1.6	25 x 25	8 à 20
Fontes	**Dureté JIB)**			i					
Ft10-15	< 150	0,2 à **1**	0,1 à 0,2	260 à 240 ■ KiO-M1O		0,4		12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	240 à 190 K10-M10		_ 7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	190 à 130 ;K20-M20		- 7	1,6	25 x 25	10 à 30
Ft20	**!60 à** 200	0,2 à 1	0,1 à 0,2	190 à 180	K10-MIO	- 7	0,4	**12** x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	180 à 140	K10-M10	- 7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	140 à 100	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 20
Ft30	180 **à** '''.20	0,2 à 1	0,1 à 0,2	140 à 130	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	130 à 110	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	MO à 80	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 20
Fl 35	220 **à** 260	0,2 à 1	0,1 à 0,2	110 à 100	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< **1**
		1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 85	KI0-M10	-7	0,8	16 x 16	1 à 7
		4 à 8	0,4 à 0,8	85 à 60	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	7 à 15

TABLEAU 5* : Chariotage avec outil en acier rapide des alliages légers et cuivreux. Durée d'outil 60 à 90 min.

Alliages légers	Dureté (HB)	Conditions de coupe: Prof. de passe (mm)	Avance (mm/tr)	Vitesse de coupe m/min	Outil	Angle de coupe γ_0 (degré)	Rayon de bec r_ε (mm)	Section du corps de l'outil (mm × mm)
Légers	15	0,2 à 1	0,1 à 0,2	1 000 à 900	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		0,5	12 × 12
sans	à	1 à 4	0,2 à 0,4	900 à 800	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)	20 à 30°	1,2	16 × 16
silicium	90	4 à 8	0,4 à 0,8	800 à 700	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		2,0	25 × 25
Légers avec	90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	800 à 700	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		0,5	12 × 12
silicium	à	1 à 4	0,2 à 0,4	700 à 650	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)	20 à 30°	1,2	16 × 16
(≤ 5 %)	160	4 à 8	0,4 à 0,8	650 à 600	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		2,0	25 × 25
Légers avec		0,2 à 1	0,1 à 0,2	600 à 500	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		0,5	12 × 12
silicium		1 à 4	0,2 à 0,4	500 à 450	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)	20 à 30°	1,2	16 × 16
(≤ 13 %)		4 à 8	0,4 à 0,8	450 à 400	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		2,0	25 × 25
Alliages cuivreux					Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)			
Bronzes	60	0,2 à 1	0,1 à 0,2	130 à 110	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		0,5	12 × 12
Laitons	à	1 à 4	0,2 à 0,4	110 à 80	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)	6 à 15°	1,2	16 × 16
Maillechorts	100	4 à 8	0,4 à 0,6	80 à 70	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		2	25 × 25
Cupro-	130	0,2 à 1	0,1 à 0,2	120 à 100	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		0,5	12 × 12
aluminium	à	1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 75	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)	6 à 15°	1,2	16 × 16
Cupro-nickels	200	4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 70	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)		2	25 × 25

* Pour les matériaux non ferreux autres que ceux signalés sur ce tableau, consulter le manuel CETIM.

TABLEAU 6 : Vitesse de coupe et d'avance en perçage avec un foret en acier rapide nuance 6-5-2.

Matériaux		Vitesse de coupe en m/min	Ø du trou → / Angle au sommet du foret et hélice	2 à 4	5 à 7	8 à 12	13 à 20	21 à 30
				Avance en mm par tour				
Aciers non alliés et faiblement alliés	R_m < 450 N/mm²	28 à 30	δ = 118° hélice standard	0,08 à 0,12	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,3	0,32 à 0,40
Aciers non alliés et faiblement alliés	450 ≤ R_m ≤ 650	24 à 26	δ = 118° hélice standard	0,08 à 0,16	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,3	0,32 à 0,40
Aciers non alliés et faiblement alliés	650 ≤ R_m < 900	20 à 20	δ = 120° hélice standard	0,05 à 0,08	0,10 à 0,12	0,12 à 0,15	0,15 à 0,20	0,25 à 0,30
Fonte grise Ft 10 à Ft 20		40	δ = 118° hélice standard	0,08 à 0,12	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,35	0,35 à 0,40
Laitons Bronzes Maillechorts		40 à 100	δ = 120° hélice longue	0,12	0,16	0,25	0,3	0,40
Alliage d'aluminium laminés (1 050-2 017...) moulés (AS 13-AS 7 G...)		60 à 200	δ = 140° hélice courte	0,12	0,16	0,25	0,3	0,40
Matières plastiques • dures		15 à 35	δ = 70°	0,14	0,18	0,20	0,22	0,25
• tendres		15 à 25	δ = 140°	0,08	0,10	0,12	0,12	0,16

TABLEAU 6 : Tournage avec outil à mise en acier rapide nuance 6-5-2.

Matière	Appellation commerciale	Avance par tour (mm)	Lubrification : air ou huile soluble	Angle de coupe γ_o (degré)	Angle de dépouille α_o (degré)	Vitesse de coupe m/min
Polyéthylène Acrylique Polypropylène	Lacqtène, Lortène Plastylène, Natbène Hostalène, Prylène Napryl, etc.	0,04 à 0,3		10 à 20	6 à 10	70 à 120
Polystyrène	Afcolène Polystyrol Vestyron, etc.	0,02 à 0,2		0 à 15	2 à 10	20 à 80
Acrylonitrile Styrène	Luran Neatorez Alcoryl Novodur, etc.	0,1 à 0,5		10	6 à 10	90 à 110
Polyamides Polycarbonates	Technyl Rilsan Akulon Ultramid Makrolon Lexan, etc. Nylon	0,04 à 0,3		5 à 20	6 à 12	90 à 150
Polyméthacrylate de méthyle	Altuglass Plexiglass Altulit	0,02 à 0,3		3 à 10	0 à 12	100 à 300
Phénoplastes	Bakélite	0,04 à 0,5		8°	12 à 25	25 à 80
Céloron et ébonite		0,04 à 0,5		15 à 20	0 à 5	50 à 80

TABLEAU 7 : Alésage à l'alésoir.

Matière (R_m en N/mm²)	Vitesse de coupe alésoir en acier rapide m/min	avance en mm par tour $\varnothing < 20$	avance en mm par tour $20 < \varnothing < 40$	avance en mm par tour $40 < \varnothing$
Acier $R_m < 650$	10 à 20	0,2 à 0,4	0,4 à 0,6	0,6 à 1
Acier $650 < R_m < 900$	6 à 10	0,2 à 0,4	0,4 à 0,6	0,6 à 1
Ft 14 à Ft 20	10 à 16	0,3 à 0,8	0,8 à 1,5	1,5 à 2

Matière (R_m en N/mm²)	Vitesse de coupe alésoir en acier rapide m/min	avance en mm par tour $\varnothing < 20$	avance en mm par tour $20 < \varnothing < 40$	avance en mm par tour $40 <$
Laiton de décolletage	[illegible]	[illegible]	0,5 à 1	1 à 2
[illegible]	[illegible]	0,3 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2

TABLEAU 8 : Taraudage.

Vitesse de coupe et lubrification		
Matières à tarauder R_m en N/mm²	**Vitesse de coupe en m/min**	**Lubrifiants**
Acier jusqu'à 600	10 à 12	Huile de coupe - Huile de colza
Acier de 700 à 900	5 à 10	Huile de coupe soufrée - Huile de colza
Acier de plus de 900	3 à 6	Huile de coupe soufrée
Acier inoxydable	2 à 5	Huile de coupe soufrée
Fonte malléable	6 à 10	Huile soluble - Huile de coupe - Air comprimé
Fonte dure	3 à 6	Huile de coupe - A sec - Air comprimé
Laiton - Cuivre	15 à 20	Huile de coupe soufrée
Bronze dur	6 à 10	Huile de coupe soufrée - Pétrole
Métaux légers	15 à 20	Huile de coupe soufrée - Pétrole
Matières plastiques dures ou tendres	3 à 8	A sec

7. Outils à plaquettes amovibles

a) pour tournage

Les outils à plaquettes amovibles sont généralement constitués d'un corps en acier **(XC48)** avec des surfaces de référence pour la mise en position de la plaquette par rapport aux surfaces de référence du corps de l'outil, d'une plaquette préaffutée en carbure ou en céramique, et d'un dispositif de maintien en position de la plaquette dans sons logement.

Les plaquettes sont vendues préaffutées. Leur fixation sur le corps de l'outil correspond à l'un des modes suivants :

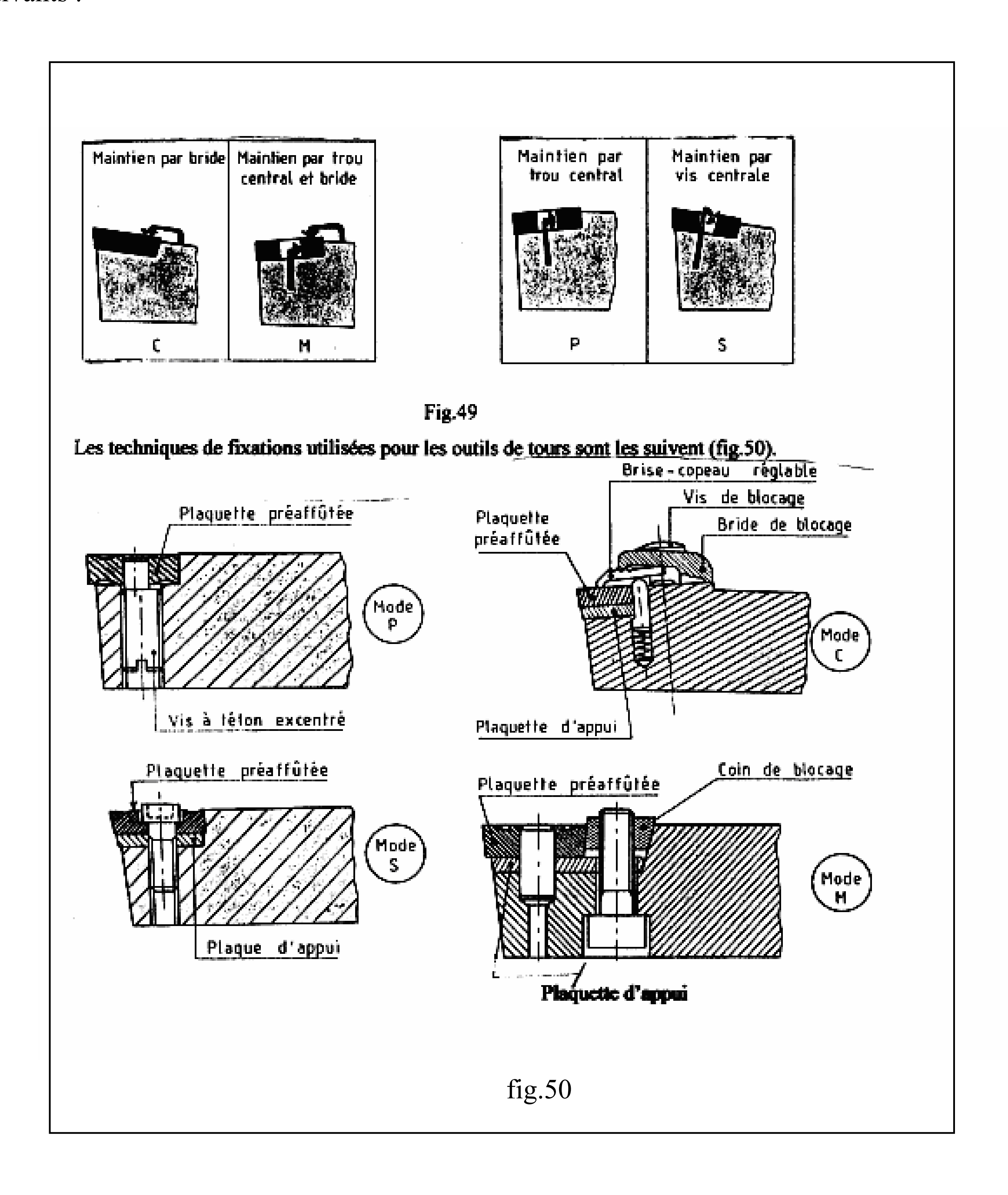


Fig.49

Les techniques de fixations utilisées pour les outils de tours sont les suivent (fig.50).

fig.50

7.1. Désignation normalisée

Elle comporte les symboles suivants: Forme, angle de dépouille, classe de tolérance, lettre caractéristique compte du mode de fixation, grandeur (dimension de l'arête), épaisseur, configuration de la pointe (rayon de bec ou arête de planage), symboles complémentaires (direction de coupe, forme de l'arête).

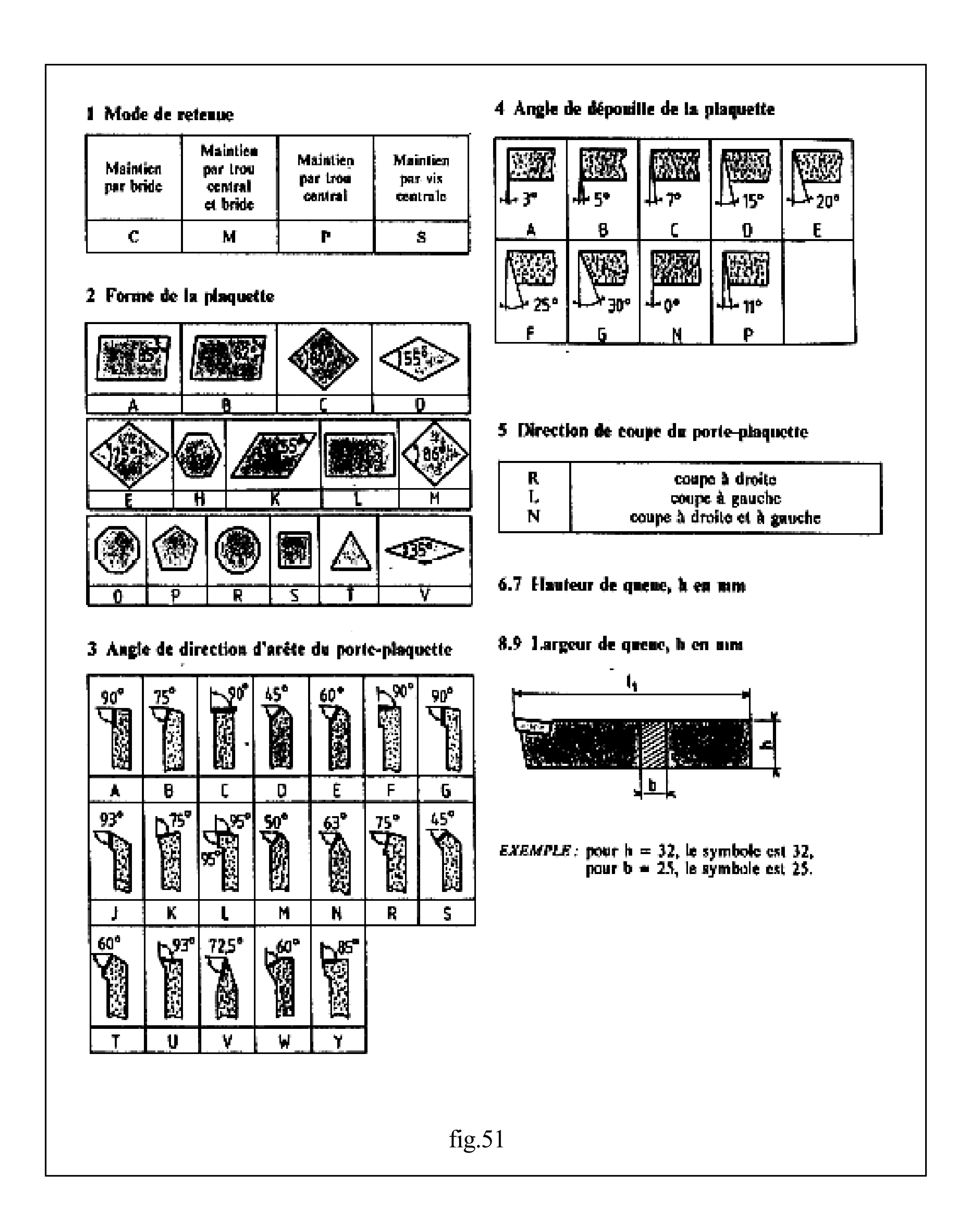


fig.51

10 Longueur (l_1) du bec de l'outil à l'extrémité de la queue.

l_1 (mm)	Symbole	l_1 (mm)	Symbole
32	A	100	H
40	B	110	J
50	C	125	K
60	D	140	L
70	E	150	M
80	F	160	N
90	G	170	P

11.12 * Dimension l d'arête de la plaquette

EXEMPLE DE DÉSIGNATION :

Ordre	1	2	3	4	5	6.7	8.9	10	11.12
Symbole	M	T	I	A	R	25	25	M	16

* Elle est exprimée en mm. si le chiffre est inférieur à 10, on place un zéro devant ; ex. : l = 9,5 mm, symbole 09.

fig.52

7. 2.Principes physiques de la coupe des métaux

Le métal enlevé de l'ébauche par un outil de coupe s'appelle copeau, le but de ce chapitre est d'étudier la formation du copeau, processus physique complexe, qui s'accompagne de modifications cristallines, de déformations élastiques et plastiques, de rupture. Il donne par ailleurs lieu à un frottement important, à un dégagement de chaleur, à des microsoudures, à la formation d'une arête rapportée, à l'usure de l'outil.

7.3. Formation du copeau et ses types

La couche enlevée par l'action de l'outil subit une compression non libre s'accompagnant de déformations élastiques puis permanentes. Ces déformations aboutissent à la rupture par glissement de certaines couches par rapport à d'autres suivant des surfaces qui, en général, se confondent avec la direction des contraintes de cisaillement maximales. (βi angle de cisaillement).

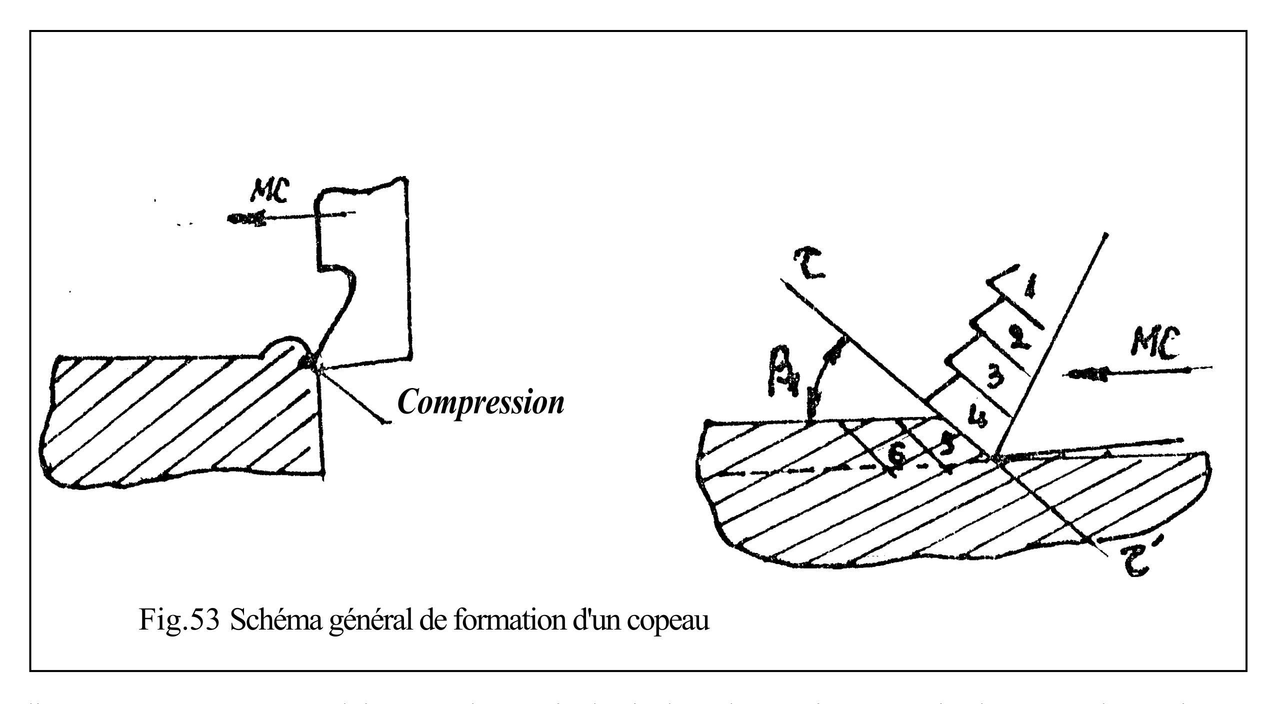


Fig.53 Schéma général de formation d'un copeau

Les glissements peuvent se produire entre les particules isolées d'un grain monocristal ou entre les grains eux mêmes au sein d'un polycristal. Ils provoquent la modification de la forme, des dimensions et des positions relatives des grains (fig.54).

Diagramme de la micro dureté du métal usiné.

fig.54

7.4. Micrographie latérale

Le schéma ci-dessus représente une micrographie latérale au voisinage piéce-outil-copeau en cours de coupe.

La déformation, au stade plastique, s'accompagne également d'un échauffement important et d'une modification des propriétés du métal qui devient plus dur et plus fragile-(voir digramme de la micro dureté du métal usiné).

Une méthode de visualisation des déformations du copeau consiste en l'application d'un quadrillage latéral très fin dont on prend des microphotographies.

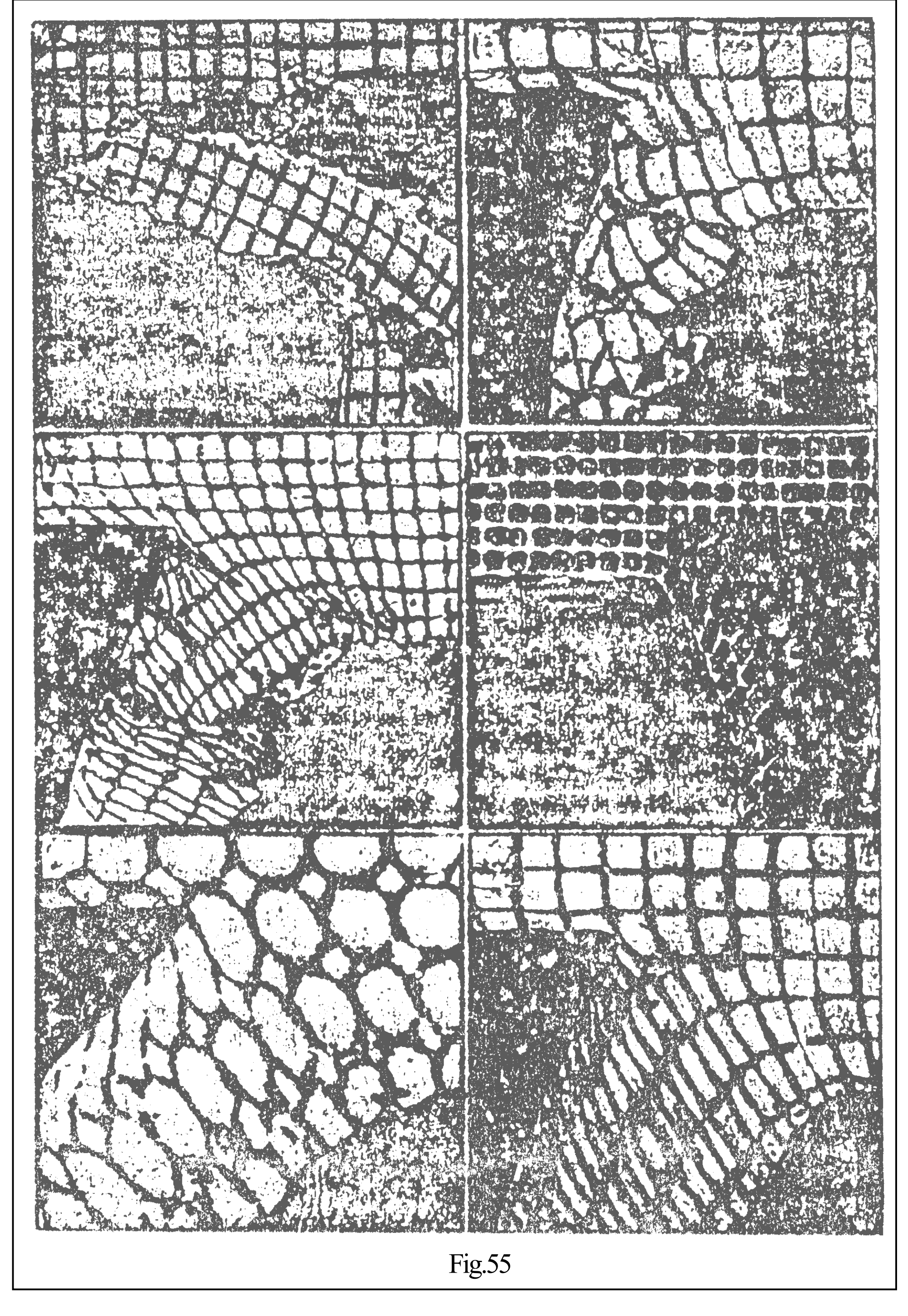


Fig.55

Différentes microphotographies de la couche enlevée en fonction de l'épaisseur et du métal usiné. Les formes du copeau varient selon les métaux travaillés et les conditions de coupe. On distingue quatre types: discontinu, cisaille, continu, fragmenté.

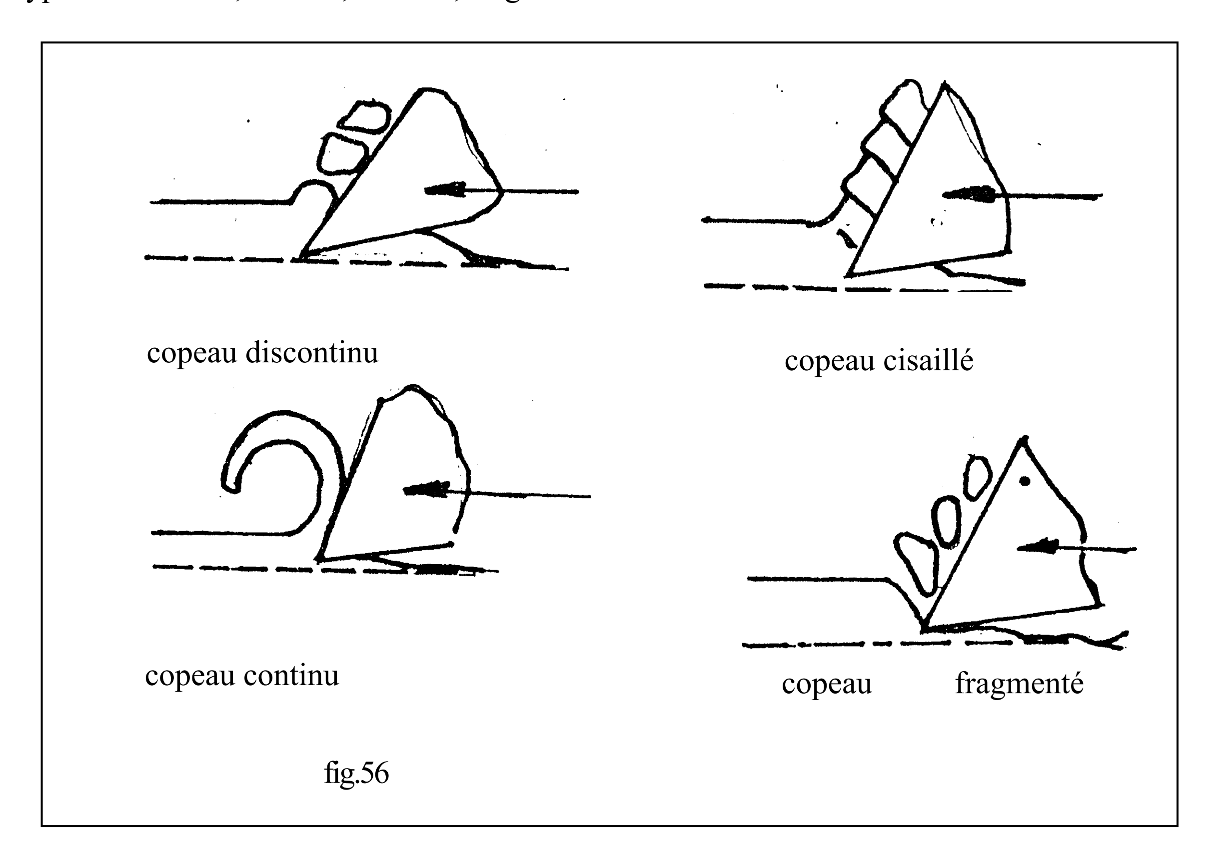


fig.56

7.5. Le copeau discontinu

Il s'obtient par l'usinage des métaux durs et peu ductiles à faible vitesse de coupe. Il est composé d'éléments séparés, déformés plastiquement, peu liés ou pas liés du tout entre eux.

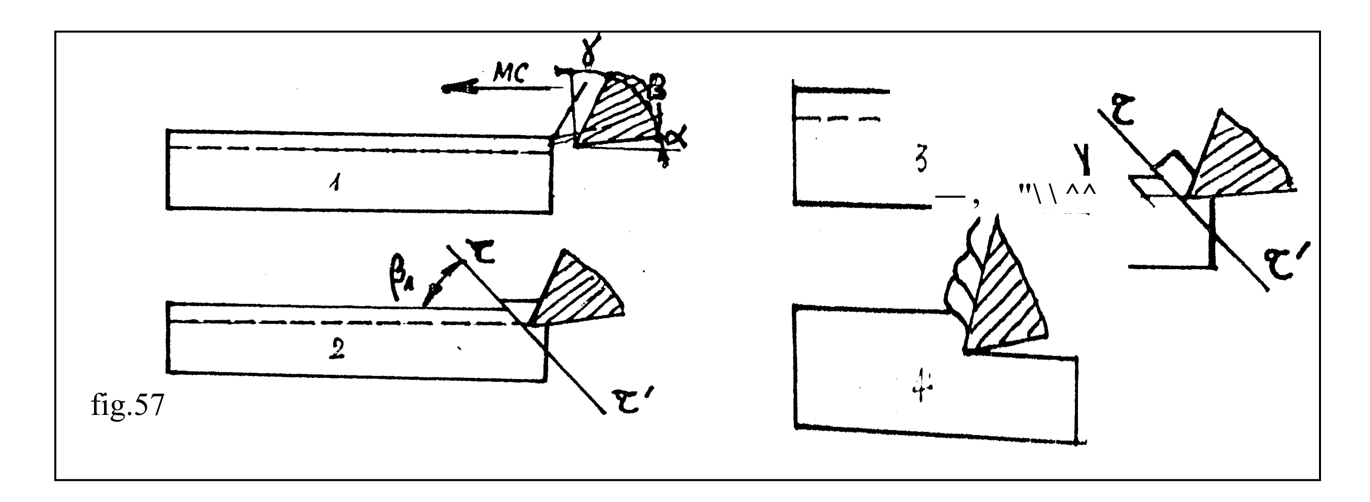


fig.57

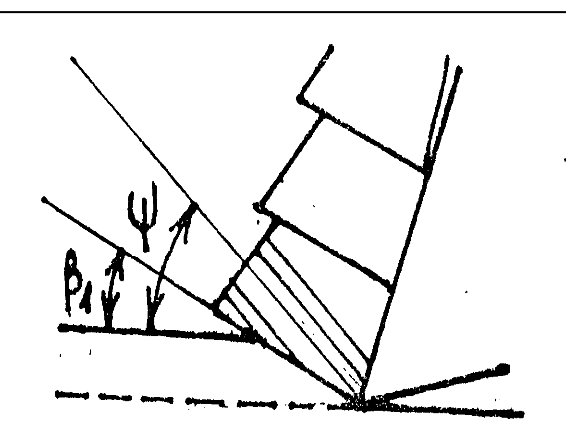
Sous l'action du mouvement de coupe MC, l'outil pénètre progressivement dans la masse du métal et l'effort produit par sa face de coupe provoque des déformations élastiques d'abord, plastique ensuite.

A mesure que l'outil s'enfonce, les contraintes dans la couche à enlever augmentent. Lorsqu'elles atteignent la valeur correspondant à la charge de rupture, elles provoquent le glissement du premier élément suivant la surface de cisaillement.

Une fois le premier élément de copeau détaché, l'outil comprime la zone voisine, les contraintes augmentent, un deuxième élément se détache selon le même angle de cisaillement βi, et ainsi de suite...

Des travaux récents de chercheurs ont montré qu'on faisant variée l'angle de coupe γ, dans les valeurs usuelles aussi bien positives que négatives, l'angle de cisaillement βi est compris entre 10 et 45°.

Si nous observons maintenant la microstructure du copeau, celle-ci diffère, du fait des déformations permanentes, de celles du métal de base et nous nous apercevons que le copeau lui-même comporte des plans de glissement qui ne coïncident pas, quant à la direction, avec celle de la surface de cisaillement.



plan de glissement interne au copeau.

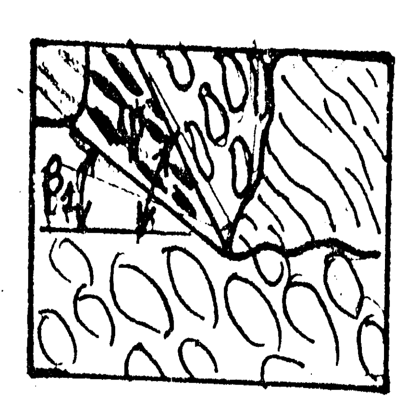


Illustration : micrographie d'un copeau d'acier.

fig.58

7.6. Le copeau cisaillé

Le copeau cisaillé s'obtient lorsque l'usinage de l'acier s'effectue à vitesse moyenne. La face du copeau en regard avec la face de coupe de l'outil est lisse alors que la face opposée porte des entailles bien marquées qui définissent la direction des surfaces de cisaillement des éléments qui, contrairement au copeau discontinu, sont fortement liés les uns aux autres. Un tel copeau soumis à la flexion se rompt.

L'augmentation de la vitesse de coupe a donc pour effet de créer une liaison, au sien du copeau, entre les éléments apparaissant lors de la formation du copeau discontinu. Si l'on augmente encore plus cette vitesse nous obtenons la formation d'un copeau continu.

7.7. Le copeau continu

Sa formation apparaît lorsqu'on usine de l'acier par exemple à grande vitesse. Le copeau s'écoule alors en forme de longue bande sans les entailles caractéristiques du copeau cisaillé.

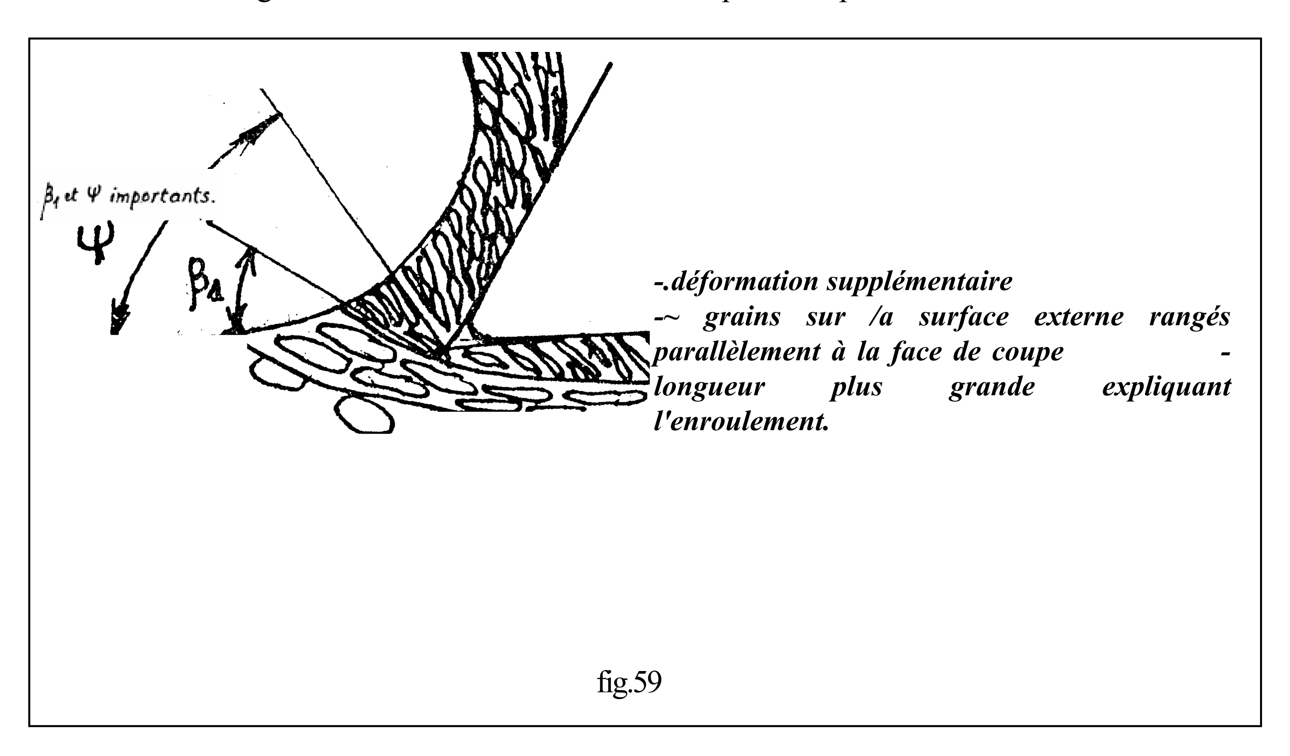


fig.59

Si, au niveau de l'arête de l'outil les phénomènes restent identiques, l'augmentation de la vitesse de coupe fait croître l'angle de cisaillement Pi et le copeau, dans ses couches proches de la face de coupe, subit une déformation plastique supplémentaire due au frottement.

De ce fait, les grains se rangent, sur une épaisseur comprise entre 2 et 20% de celle du copeau, parallèlement à la face de coupe, provoquant l'enroulement et comme ly est important on ne voit plus apparaître les entailles sur la face interne du copeau qui reste malgré tout rugueuse.

D'autre part, les couches attenantes à la surface usinée subissent une déformation supplémentaire, due au retour non parfaitement élastique de la matière coupée ainsi qu'à son frottement sur la face de dépouille et, là encore les grains se rangent parallèlement à la surface produite.(influence sur l'état de surface, la rugosité).

7.8. Le copeau fragmenté

Il s'obtient lors de l'usinage de matériaux friables, fragiles tels que le bronze dur, la fonte... il est constitué l'élément isolée, de forme variée, pas liés ou très peu liés entre eux. Ce copeau ne subit qu'une faible déformation plastique et sa séparation de l'ébauche s'effectue le long de la fente adventive qui se ferme immédiatement selon la surface de cisaillement de configuration quelconque.

Les éléments du copeau quittent rapidement la face de coupe de l'outil. La rupture produit des efforts variables et la surface engendrée est rugueuse, arrachée.

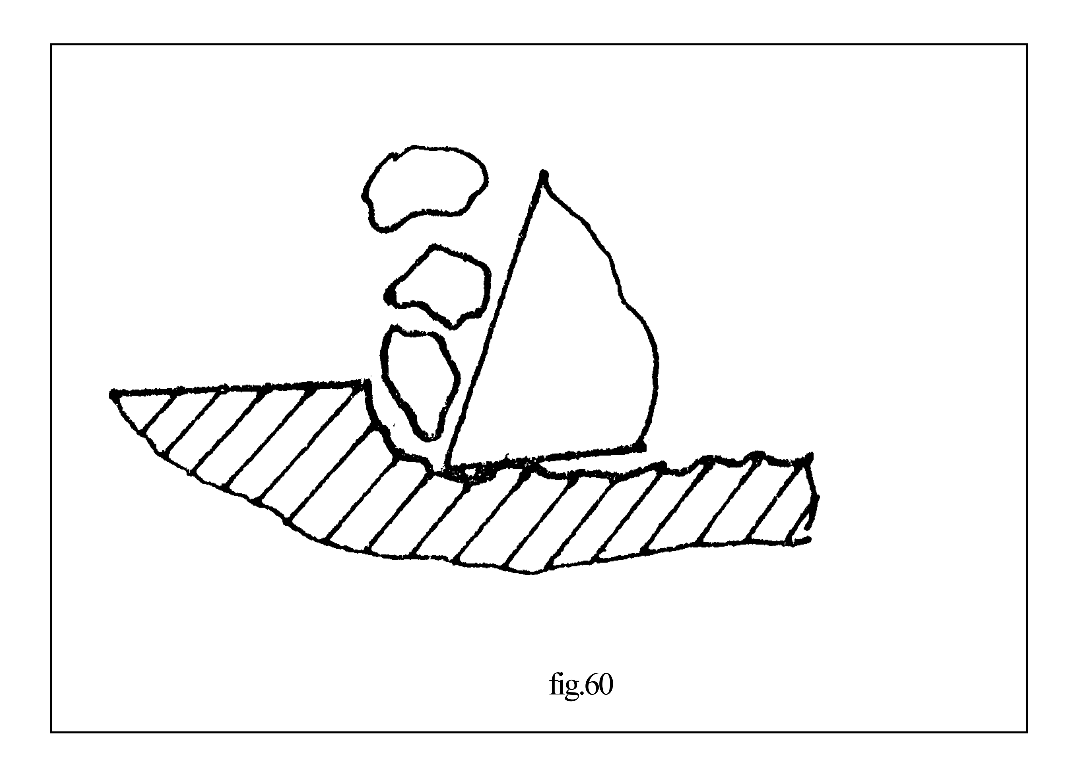


fig.60

7.9. Arête rapportée

Dans certaines conditions, précisées en fin de paragraphe, on peut observer, sur la surface de coupe au voisinage de l'arête, une accumulation de forme pyramidale faite de particules du métal de base, très déformées, adhérentes à l'outil, que l'on appelle arête rapportée ou encore copeau adhérent et dont la dureté peut atteindre deux à trois fois celle de la matière usinée.

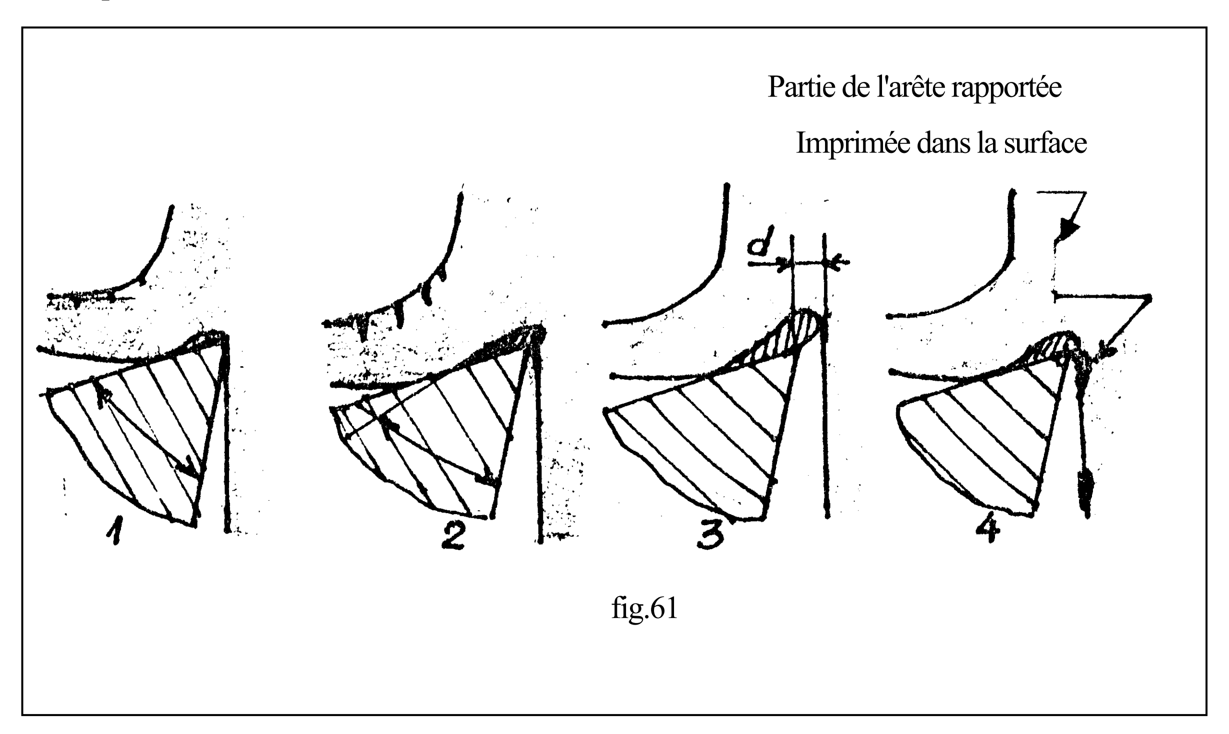


fig.61

Le mécanisme de sa formation peut être décomposé en quatre temps:

1. Sous l'effet de la pression exercée par la coupe et de réchauffement, il se forme des microsoudures du métal usiné dans l'outil.
2. L'augmentation induite de la rugosité de la face de coupe entraîne une augmentation du frottement entre le coupeau et l'outil ce qui a pour effet d'amplifier le phénomène de microsoudures.
3. la formation du copeau ne se fait plus par l'arête de l'outil, mais par l'arête rapportée qui joue, malgré sa stabilité variable, le rôle d'arête auxiliaire.
4. lorsque "d" devient trop élevée, une partie de l'arête rapportée s'effondre et s'imprime, en partie, dans la surface usinée. La formation du copeau adhérent modifie la géométrie angulaire de l'outil, influe sur les efforts appliqués à l'outil, son usure et sur la qualité de la surface usinée, l'arête rapportée diminue l'angle de taillant 0, facteur favorisant l'écoulement du copeau, et protège l'arête tranchante en l'éloignant des zones de pression et de chaleur maximales. Aussi, dans certains travaux d'ébauche, elle est recherchée. Mais il faut bien se rendre compte qu'elle entraîne une augmentation de l'énergie absorbée par la coupe.

Dans les travaux de finition il faut éviter sa formation car elle est préjudiciable à la qualité de la rugosité, sa disparition et sa reconstitution donnant les profondeurs de passe variables.

La vitesse de coupe joue un rôle important dans la formation du copeau adhérent. Si la vitesse est basse (<5m/min) le copeau discontinu obtenu et la faible augmentation de température qui en résulte rend sa formation impossible. La vitesse augmentant, le copeau discontinu se transforme d'abord en copeau cisaillé puis en copeau continu ; la température devient alors suffisante pour que, sous l'effet de la pression de coupe, les microsoudures se produisent. Si l'on continue à augmenter la vitesse, la température devient plus élevée, la zone d'accumulation se ramollit et se transforme en une couche mince freinée mais non sondée.

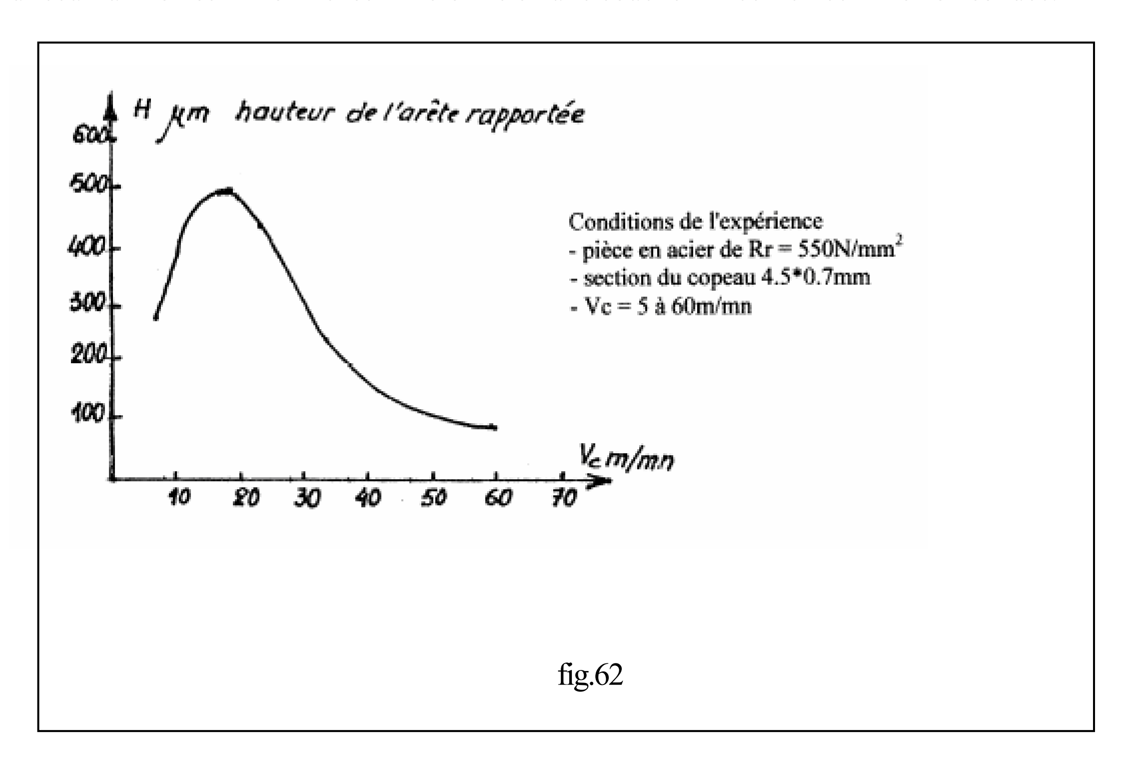


fig.62

Courbe semblable pour tous les outils dans le cas d'usinage des aciers. En définitive, pour limiter les risques d'arête rapportée et améliorer la rugosité de la surface usinée:

- choisir une vitesse de coupe correcte.
- Polir les faces de coupes et de dépouille (diminution du frottement).
- Utiliser un lubrifiant approprié au type de travail et au matériau à usiner.

Les principaux facteurs influençant l'écrouissage sont:

- les propriétés du métal usiné: l'écrouissage est d'autant plus important que le métal œuvré est plus doux - exemple: l'aptitude des fontes à l'écrouissage est beaucoup plus faible que celle des aciers.
- L'angle de coupe, le rayon de l'arrondi de l'arête tranchante, l'épaisseur de la tranche cisaillée selon l'avance: leur augmentation aggrave le phénomène.
- L'usure de l'outil: sur sa face en dépouille renforce d'abord l'écrouissage, puis le diminue.
- L'arrosage diminue la profondeur et le degré d'écrouissage.
- Le recuit et la normalisation de la surface usinée suppriment l'écrouissage.

7.10. Résistance à la coupe

7.10.1 Origine des efforts

Les efforts appliqués sur la partie active de l'outil proviennent de la couche cisaillée, de la surface usinée, des frottements. La couche cisaillée exerce sur l'outil un effort variable. Dans le cas d'un copeau discontinu, cette action est minimale au début de la déformation, lors de la formation du premier élément. A mesure que l'outil progresse et que la déformation de l'élément augmente, l'effort de coupe s'accroît pour atteindre sa valeur maximale au moment ou l'élément se détache; il diminue alors, sans redevenir nul, car la déformation du deuxième élément commence quelque peu avant la fin du détachement du premier.

Ces variations de l'effort de coupe rendent inégales les charges qui s'exercent sur l'outil, l'ébauche et tous les organes de la machine, produisent des vibrations et peuvent dégrader la surface usinée.

Dans le cas d'un copeau cisaillé, l'effort de coupe a une variation plus faible et l'allure de l'usinage devient plus régulière.

L'effort de coupe est encore plus constant lorsque le copeau est continu et la surface obtenue est moins rugueuse.

La surface usinée, par ses déformations élastiques, exerce également une action sur l'outil, au niveau de surface de dépouille. Le frottement produit par l'écoulement du copeau sur la surface et par le déplacement relatif de la surface usinée et de la face de dépouille influe encore sur les efforts lors de la coupe.

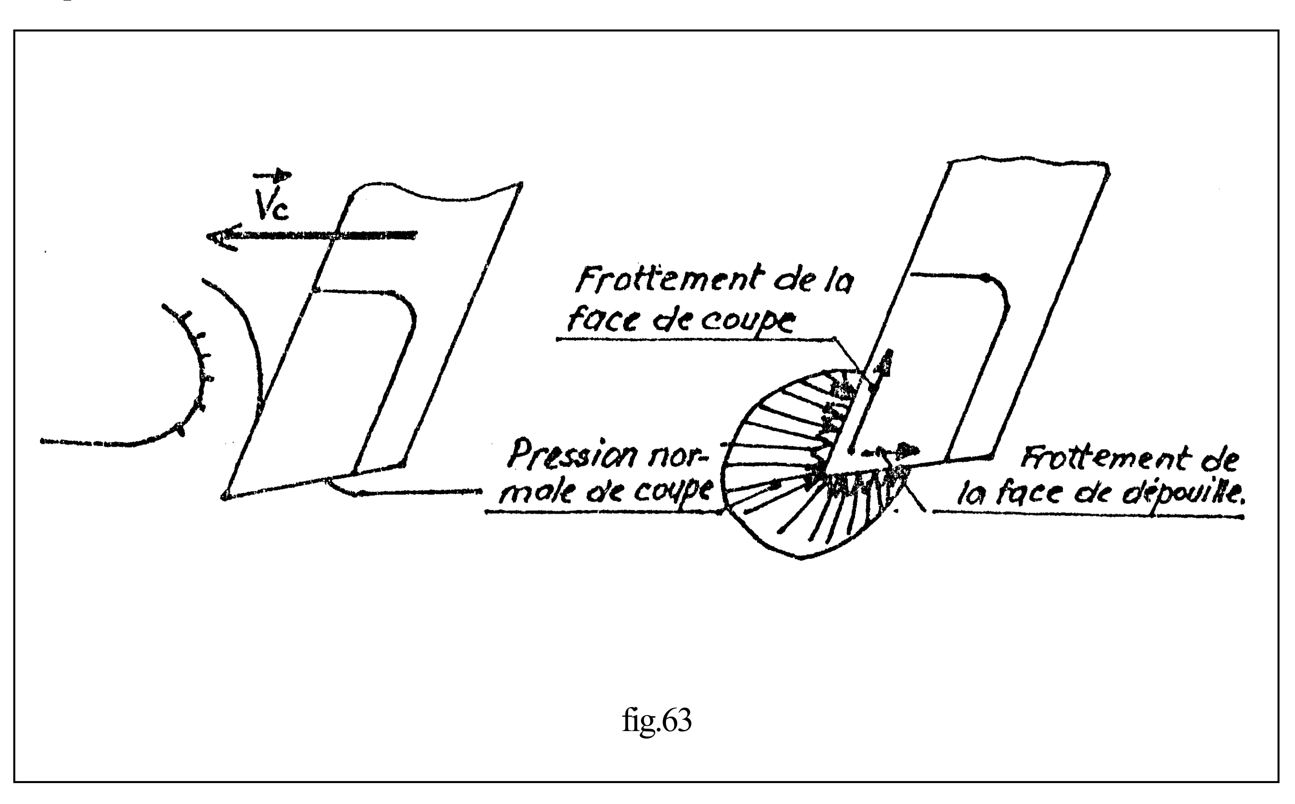


fig.63

7.11. Echauffcment et usure des outils

7.11.1 Echauffement

La puissance absorbée par la coupe produite de la chaleur qui se propage depuis les zones situées à proximité de l'arête vers les zones à température plus basse. La chaleur est fournie essentiellement par le travail:

- Absorbé par les déformations plastiques
  - de la couche enlevée
  - des couches adhérentes à la surface usinée et à la surface de cisaillement.
- Le travail absorbé pour surmonter le frottement sur les faces de coupe et de dépouille de l'outil.

Le bilan thermique de la coupe des métaux peut s'établir ainsi:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=4} Q_i$$

avec les quantités

Qi de chaleur emportée par le copeau

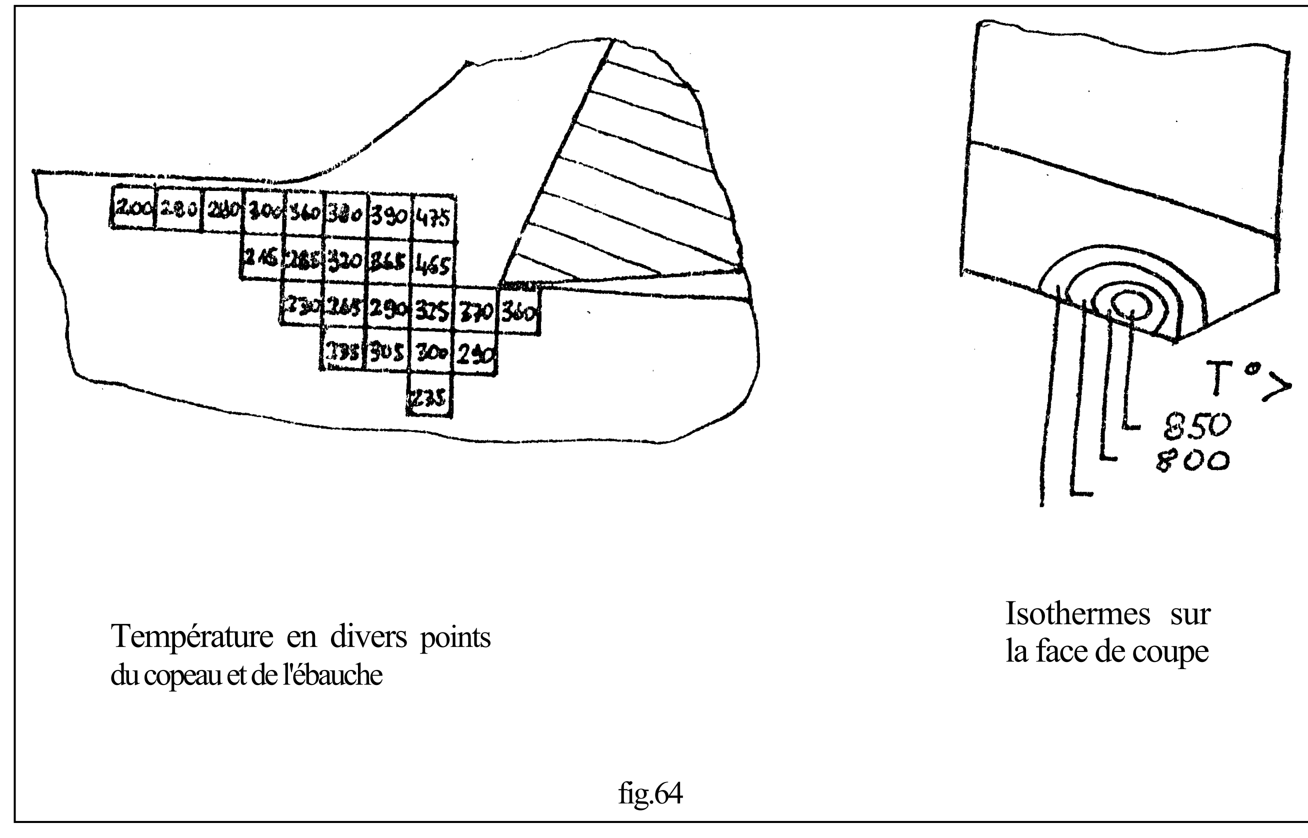
Q2 de chaleur absorbée par l'outil

Q3 de chaleur prise par l'ébauche

Q4 de chaleur échangée avec le milieu ambiant.

Exemple en tournage: le copeau absorbe de 50 à 86% de la chaleur et ce taux est d'autant plus élevé que la vitesse de coupe et l'épaisseur de la tranche cisaillée sont plus grandes, 40 à 10% revenant à l'outil, 9 à 3 % à l'ébauche usinée, 1% seulement étant rayonnée dans le milieu ambiant.

La distribution de la chaleur dans la copeau comme dans l'outil n'est pas uniforme. La température des couches du copeau proches de la déformation supplémentaire de la couche externe du copeau par les forces de frottement.



Température en divers points du copeau et de l'ébauche

Isothermes sur la face de coupe

fig.64

La température de l'outil est maximale dans les couches attenantes aux surfaces de contact avec le copeau et l'ébauche. Celles des couches sous jacentes et des parties plus éloignées des points de contact est définie par les phénomène de conductibilité thermique.

7.11.2 Usure des outils de coupe

Après un certain temps T de travail, l'outil perd ses qualités de coupe et sa détérioration s'accentue très rapidement. On constate alors, sur la surface façonnée de la pièce, des rugosités puis des arrachements: L'outil est usé.

Modes

L'usure des outils de coupe est provoquée par le frottement du copeau contre la face de coupe et de la face en dépouille contre l'ébauche; elle se traduit par une abrasion et l'arrachement de fragments microscopiques de ces surfaces ainsi que par l'arrachement de fragments microscopiques de l'arête tranchante provoquant un émoussement.

En usinage des métaux le frottement et l'usure qu'il produit diffèrent quelque peu de l'allure du phénomène dans les conditions usuelles du fonctionnement des éléments de machines.

Cette différence réside dans le fait, qu'on usinage, le frottement s'établit entre des surfaces sans cesse " renouvelées [M], l'étendue de contact étant relativement faible, alors que la température et la pression sont très élevées.

L'usure peut se produire d'après l'un des trois modes suivants: Par abrasion, par usure moléculaire, par diffusion.

- L'usure par abrasion résulte du striage c'est-à-dire du cisaillement de volumes microscopiques du métal de l'outil par des composantes structurelles dures. L'effet abrasif est également très intense dans le cas des croûtes de fonderie et des battitures d'ébauches.

- L'usure moléculaire ou adhésive résulte de l'effet de forces d'adhésion moléculaire qui se produisent entre le matériau de l'outil et le copeau et qui arrachent de menues particules de l'outil.

- L'usure par diffusion a lieu par suite de la dissolution réciproque du couple métal œuvré-matériau de l'outil.

Facteurs

Les principaux facteurs influençant l'usure sont :
- les propriétés physiques et mécaniques du métal en œuvre et du matériau de l'outil.
- L'état de l'arête tranchante et des surfaces qui la déterminent.
- les propriétés physico-chimiques du liquide d'arrosage.
- les facteurs mécaniques d'usinage.
- la géométrie de la partie active de l'outil.
- l'état de la machine outil, la rigidité de l'ensemble porte pièce - pièce -outil- porte outil,...

Localisation

En général, l'outil s'use suivant les faces de coupe et de dépouille entraînant une modification de l'arête et de la partie active.

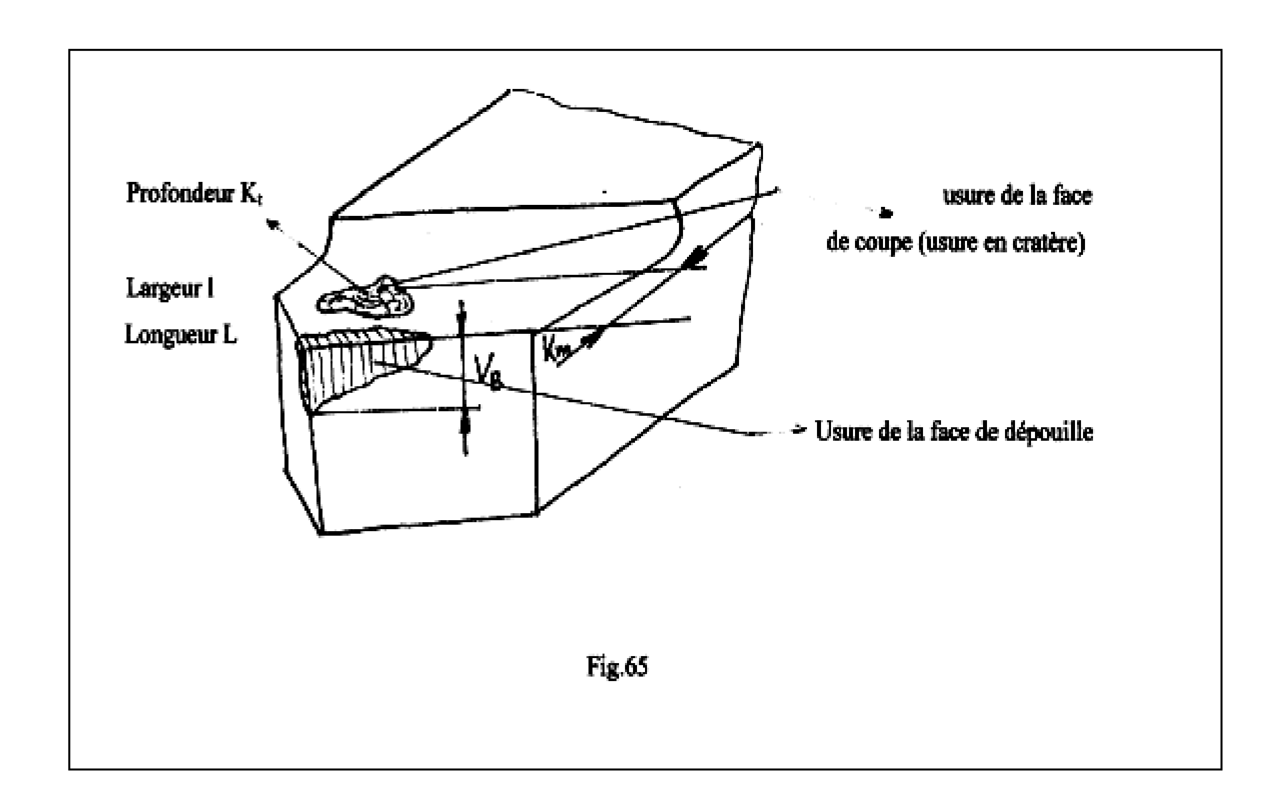


Fig.65

L'usure de la face en dépouille est définie par la hauteur Vp. Si l'usure en dépouille est trop rapide c'est que la vitesse de coupe est trop élevée ou que la nuance du matériau constitutif de l'outil donne une résistance trop faible.

L'usure de la face de coupe est déterminée par les dimensions du cratère (K_T en profondeur, 1 sa largeur, sa longueur L ayant une importance moindre) et la distance K_M de son centre à l'arête. Une usure en cratère trop rapide peut prévenir d'une avance f trop grande, d'une lubrification insuffisante, d'une nuance inadaptée.

Un brûlage de l'arête provient d'une vitesse de coupe excessive alors qu'une arête rapportée est engendrée par une vitesse trop faible.

Relation entre usure et temps- critères d'usure

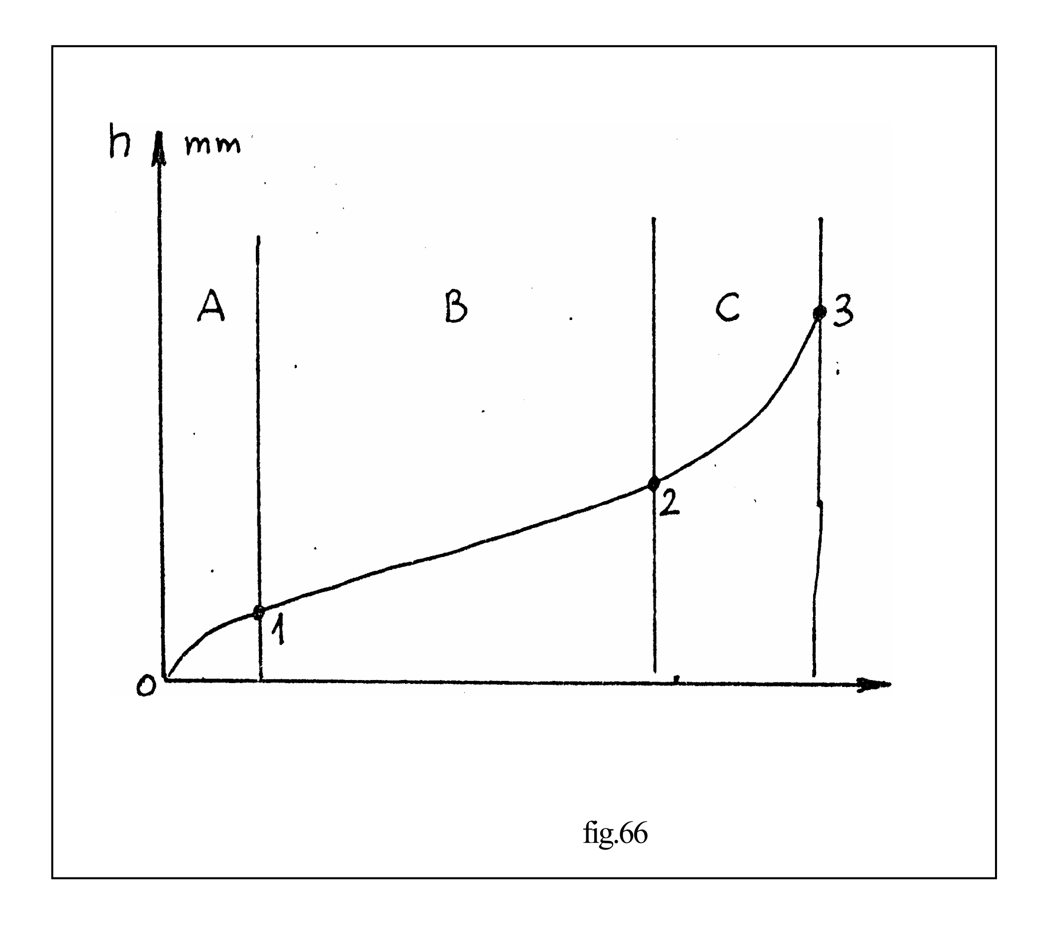


fig.66

La relation entre la valeur de l'usure et le temps est représentée par la courbe ci-dessus que l'on peut scinder en trois parties A, B, C.

- La partie A est celle du rodage ou usure initiale. Elle donne lieu à une usure intense des particules de la surface les plus en saillie - plus la surface est " nette " au départ, plus faible est l'évolution de l'usure dans un même intervalle de temps.

- la partie B correspond à l'usure normale. Elle est définie en fonction de la durée de travail T.

- C. lorsque l'usure atteint un certain degré, les conditions de frottement changent, la température de coupe augmente, c'est la période d'usure accélérée. (3 catastrophique).

Mais à quel moment faut-il arrêter le travail pour réaffûter l'outil ?
Si l'usure est limitée en 1 les réaffûtages fréquents reviennent cher.
Si l'on pousse l'usure à sa limite catastrophique (en 3), la couche de métal à enlever par affûtage devient alors trop grande et la surface usinée sur l'ébauche ne correspond plus aux spécifications.
Sur quels critères ou indices se baser?
• Critère du liséré brillant : suivant ce critère, l'outil est considéré comme émoussé et demande un réaffûtage lorsque l'usinage de l'acier donne lieu à la formation d'un liséré brillant à la surface de cisaillement (celui de la fonte à la formation de taches sombres.).C'est le moment où des particules isolées se détachent de l'arête tranchante qui commence à s'ébrécher. En ces points l'outil exerce une pression plus importante sur la surface de cisaillement : il se produit un polissage. L'apparition du liséré brillant correspond au début de la troisième phase d'usure.

Critère d'effort : l'outil est considéré comme émoussé lorsqu'on enregistre le début de l'augmentation des efforts de coupe (essentiellement des efforts d'avancement et de pénétration).

Critère de l'usure optimale: une usure optimale est celle qui assure une durée totale maximale de l'outil. La durée totale ET est déterminée par le produit du nombre de réaffûtage admis pour la plaquette, dans le cas d'usure considérée, par le temps de service de l'outil pendant lequel cette usure s'est constituée.

$\sum T = K * T_{min}$

Où **K** est le nombre de réaffûtage admissibles pour la plaquette dans le cas de l'usure considérée et T la durée de l'outil conduisant à cette usure.

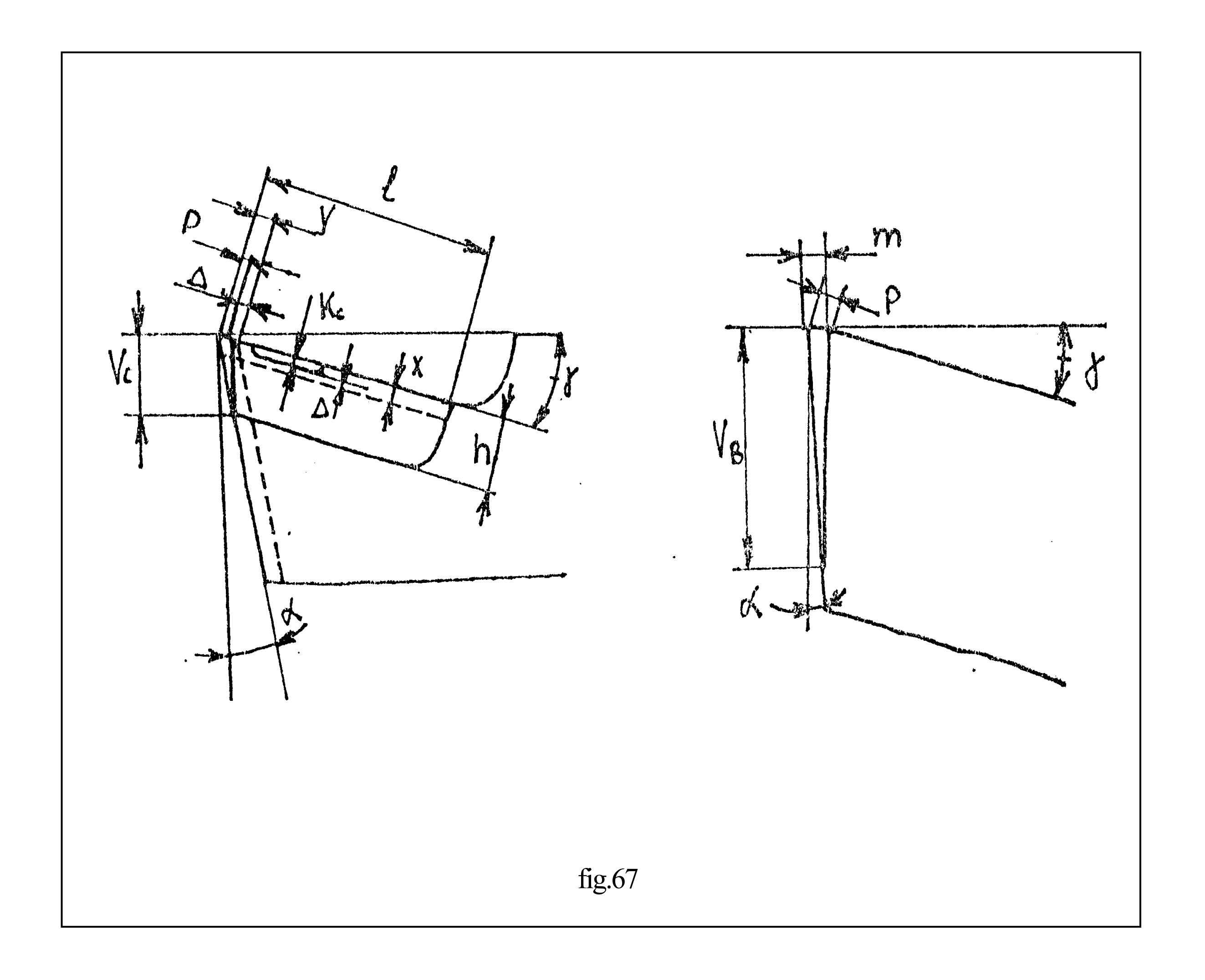


fig.67

Désignons par :

- X l'épaisseur de la couche enlevée par réaffûtage sur la face de coupe.
- Y l'épaisseur, mesurée selon la largeur de la plaquette, de la couche enlevée par réaffûtage sur la face en dépouille.
- l et h largeur et hauteur de la plaquette en mm:
- Δ la tolérance d'affûtage (Δ = 0.1 à 0.2 mm).On considère la plaquette comme totalement usée lorsqu'il n'en restera plus qu'un tiers en épaisseur et en largeur: Cherchons les valeurs de K. Sur la face de coupe le nombre Ki de réaffûtage admissibles vaut:

$$K_i = \frac{2/3.h}{X} = \frac{2/3.h}{K_c + \Delta}$$

Et sur la face de dépouille le nombre K2 de réaffûtage admissible vaut

$$K_2 = \frac{2/3J}{Y} = \frac{2/3J}{P+\Delta}$$

$$P = \frac{m}{\cos \gamma} \quad et \quad m = V \times tg\alpha \quad \text{d'où}$$

$$P = \frac{Vtg\alpha}{\cos \gamma} \quad \textbf{et} \quad K_2 = \frac{2/3J}{\frac{Vtg\alpha}{\cos \gamma} + \Delta}$$

K sera l'inférieur des nombres Kj, K2.

K= Inf (Ki,K_2).

Le critère d'usure optimale est surtout appliqué dans les cas ou l'outil est utilisé en opération d'ébauche ou en semi finition.

• Critère de l'aptitude à la coupe : ce critère est appliqué aux outils prévus pour la finition. L'outil est considéré comme usé lorsque la surface usinée cesse de satisfaire aux prescriptions imposées. Ce critère rend le réaffûtage impératif alors que l'usure est encore inférieure à celle définie par tous les autres critères. L'usure fait alors sortir la cote du champ de tolérance ou dégrade l'état de la surface produite.

La tenue de l'outil qui correspond à une certaine valeur de l'usure dans le sens radial (cote m de schéma de la page précédente) s'appelle tenue dimensionnelle. La durée de la tenue dimensionnelle importe notamment pour les machines transfert dont le fonctionnement normal n'est possible que dans le cas d'un service stable et continu des outils de coupe pendant tout le temps imposé.

Les critères d'usure les plus utilisés sont ceux de l'usure optimale et de l'aptitude à la coupe. L'usure de la face de coupe intervient moins dans le processus de la coupe car elle se manifeste brusquement lorsqu'elle atteint son point culminant (point.3). Celle de la face en dépouille, dans les cas usuels, se manifeste de façon progressive et est considérée comme déterminante (Vβ).

Exemple: outils à charioter on à dresser, à mises rapportées, en carbures métalliques, travaillant de

- l'acier : ébauche 1 à 1.4mm; finition 0.4 à 0.5mm
- la fonte : ébauche 0.6 à 1mm ; finition 0.6 à 0.8mm.

Actuellement les travaux sur ce sujet ont montré que l'intensité de l'usure exprimé en mm ou en milligrammes de la masse enlevée de l'outil par mètre de la course de coupe ou par centimètre carré de la surface usinée donne une caractéristique plus objective de l'allure quantitative de l'usure que la dimension linéaire Vβ. Il en est de même de l'usure relative qui est le quotient de l'usure de surface en dépouille Vβ et de l'usure en cratère K_c par la valeur de la course de coupe ou de la surface usinée.

8. Effet de la lubrification

Généralement lors de l'usinage, la formation de copeaux est toujours accompagnée d'un dégagement de chaleur dû au frottement du copeau glissant sur la face de coupe et au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil. Ce dégagement de chaleur provoque une augmentation de la température de la pièce et de l'outil.

L'échauffement de la partie active de l'outil est fonction d'une part de la vitesse de coupe Vc et croit avec cette dernière par exemple lors de l'usinage sur tour de l'acier XC38 si la vitesse Vc passe de 50 à 100 m/min, la température croit de 600°C à 800°C et d'autre part de la forme du bec de l'outil, car la mise hors d'usage est d'autant plus rapide que le bec de l'outil est pointu car le peu de passage offert à la chaleur empêche sa dispersion dans le corps de l'outil. L'outil à fileter s'émousse plus vite qu'un outil à charioter à bec arrondi (fig.68).

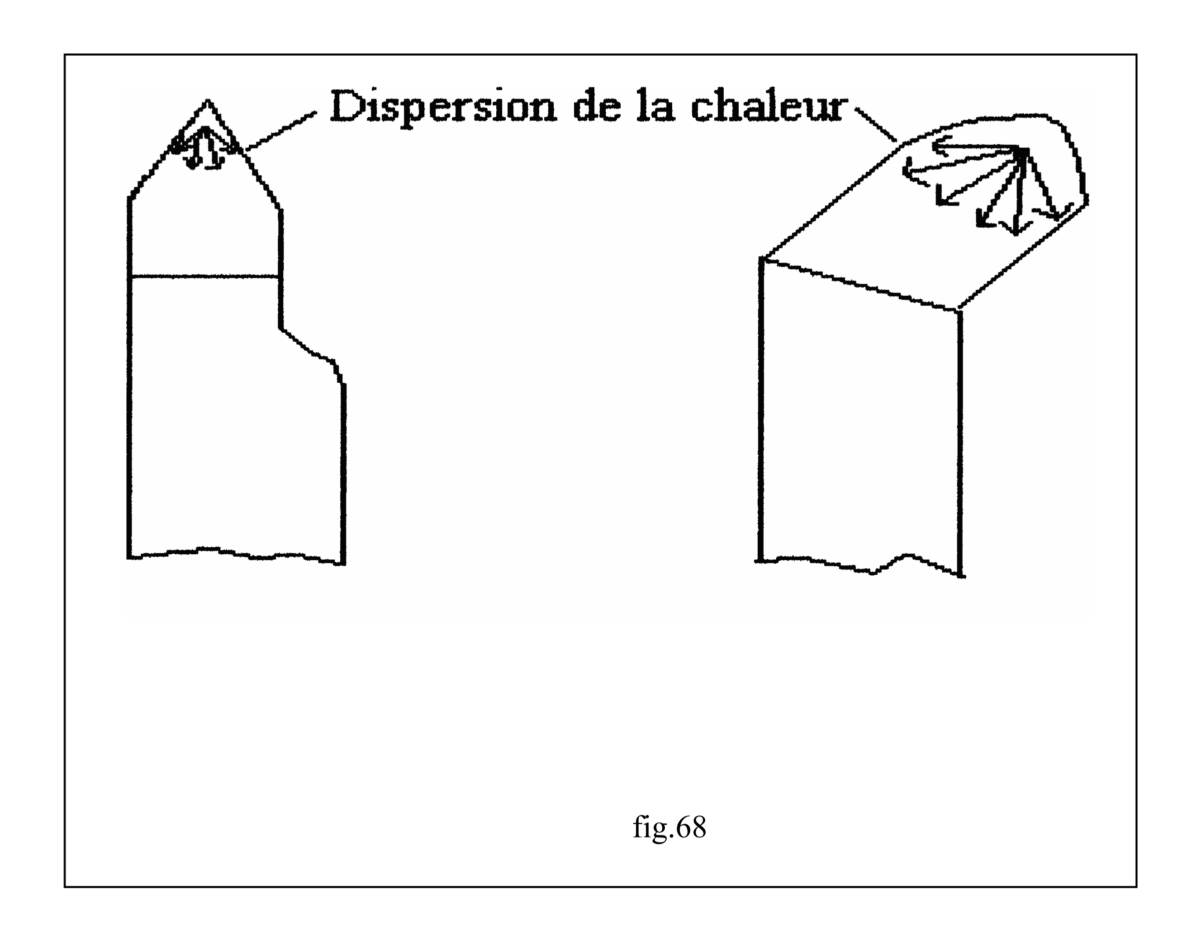


fig.68

8.1 Conséquences de l'augmentation de la température a) Sur l'outil L'usure de l'outil est d'autant plus rapide que la température de la partie active est plus élevée car la dureté du matériau découpé diminue à partir de certaines températures.

Acier rapides : 500 à 600°C

Carbures : 800 à 900°C

Céramiques : 1400°C

L'augmentation de la température de la partie active de l'outil influe aussi sur la durée de coupe (fig.69). Si T= 700°C l'arête s'effondre en 4minute. Donc la température de la partie active du l'outil doit être réduite pour ne pas entraîner sa perte de dureté.

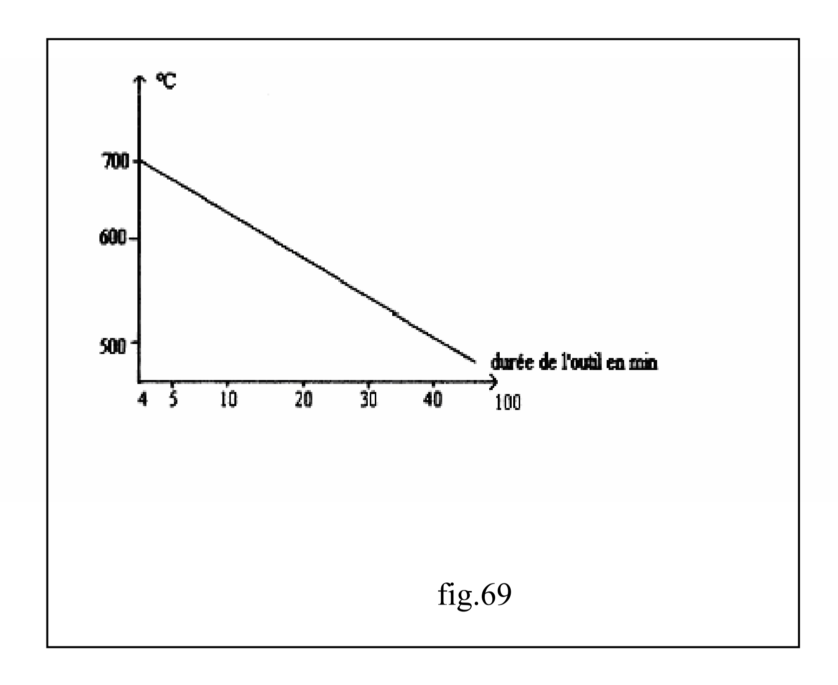


fig.69

b) Sur la pièce

Dans la zone de formation du copeau la température tend à augmenter la plasticité du métal et par conséquent elle permet une diminution notable des efforts de coupe. En revanche, elle provoque une dilatation de la pièce et des contraintes résiduelles en surfaces. Lors du refroidissement de la pièce, cette dernière se rétracte et la dimension risque d'être hors tolérance. Donc si on veut réaliser un travail de précision, il faut limiter le température de la pièce en cours d'usinage. De même la dilatation peut provoquer:

- des difficultés de contrôle dimensionnel, car les instruments de vérification sont calibrés, à une température plus faible. Après contraction les cotes des pièces peuvent être inférieures aux valeurs souhaitées.
- Risque de déformation de la pièce.
- De dangereuses pressions sur les appuis. Ainsi dans le tournage la poussée axiale peut échauffer la contre pointe par frottement au point d'entraîner son grippage et même son soudage à la pièce.

c) Sur la qualité de la surface obtenue

L'échauffement du copeau et de l'outil peut entraîner un soudage (copeau adhérent). Les surfaces obtenues présentent des rugosités et des arrachements désordonnés).

8.2.Limitation de la température en cours d'usinage

Il existe plusieurs solutions pour diminuer la température d'usinage.

• Diminuer la vitesse de coupe V mais comme cette solution diminue le rendement, elle n'est pas retenue.

.Limiter l'avance f solution retenue pour un travail de finition (la rugosité est fonction de la valeur de f).

.Limiter la passe de profondeur a, solution retenue pour un travail de finition. La limitation de **a** permet une meilleure tenue de l'outil.

- Refroidir la zone de coupe par lubrification.
- Le bon état de l'outil et sa parfaite adaptation.

8.3. Rôle du lubrifiant

Les fluides de coupe ou lubrifiant agissent:

•En diminuant le coefficient de frottement copeaux-outil et outil-pièce, c'est l'effet lubrifiant, empêchant dans certains cas la formation de microsoudures.

•Evacuation de la chaleur par refroidissement de l'outil et de la pièce par effet réfrigérant

Les lubrifiants utilisés sont destinés à:

- A réduire la chaleur dégagée c'est-à-dire réfrigérer la pièce et l'outil. Dans ce cas on utilise l'huile soluble.

- A réduire la chaleur dégagée avec effet lubrifiant pour limiter l'usure c'est-à-dire réfrigérer et lubrifier pour limiter le coefficient de frottement du copeau dans ce cas on utilise les huiles de coupes (huiles minérales).

Le procédé de lubrification n'est efficace que si le liquide circule effectivement et abondamment dans la zone de coupe. Donc dans la plupart des cas d'usinage des aciers, la lubrification permet:

- Une réduction de l'usure de l'outil de coupe.
- Une augmentation de la vitesse de coupe donc de diminuer les coûts d'usinage.
- D'améliorer l'écoulement des copeaux et diminuer les risques d'arrachement. Donc bonne rugosité de la surface usinée.

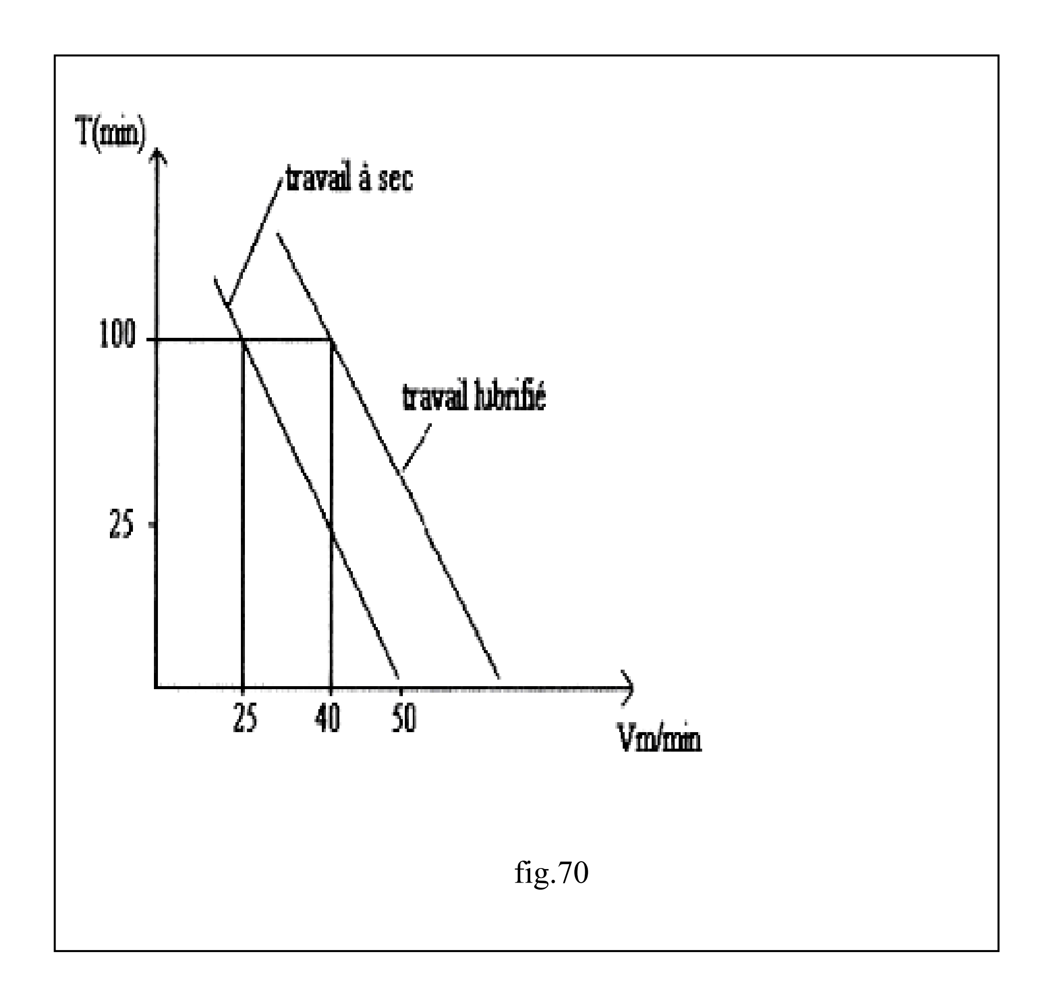


fig.70

8.4 Choix du lubrifiant

Un bon lubrifiant doit présenter les qualités suivantes:

à) Pouvoir mouillant très élevé

C'est la qualité qui permet au liquide de s'étendre de lui-même en nappe sur le support au lieu de se disperser en filets. On peut mettre le fait en évidenœ en déposant sur une même tôle deux masses identiques d'eau et d'huile par exemple et en plaçant ce support verticalement, l'eau se sépare rapidement en filets distincts couvrant une surface Si tandis que l'huile s'étend en nappe sur une surface S2 beaucoup plus vaste. L'huile a donc un pouvoir mouillant supérieur à celui de l'eau.

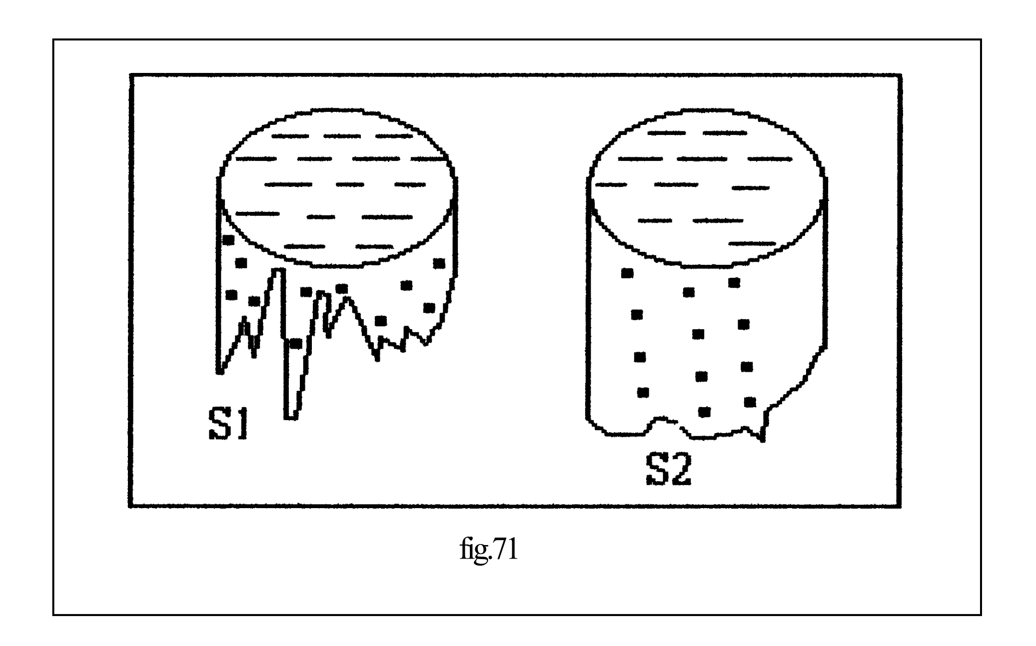


fig.71

Un liquide à fort pouvoir mouillant se maintient en couronne débordant l'outil dans le cas du tournage

b)Pouvoir réfrigérant important

Pour que l'évacuation de la chaleur soit immédiate et rapide.

c) Pouvoir lubrifiant efficace.

Pour que le film de glissement se maintient entre le copeau et la face d'attaque de l'outil même sans porte pression.

d) Stabilité durable

C'est-à-dire absence d'oxydation à l'air et absence de dépôt poisseux.

e)Neutralitéchimique

Evitant l'oxydation des métaux.

8.5. Types de lubrifiant ou liquide d'arrosage

• **L'eau**

Le plus facilement disponible est l'eau mais on ne peut l'employer que dans des cas très particuliers, affûtage des outils à la meule par ex: elle oxyde les pièces et les organes des machines et possède un pouvoir mouillant et lubrifiant très faible.

• **L'eau de soude (à 3% de soude)**

Elle est moins oxydante, mais elle attaque les peintures et ne lubrifie que très mal.

• **L'huile de colza**

C'est un excellent lubrifiant mais dès qu'elle est attaquée par l'air, son odeur devient vite désagréable.

- **L'huile minérale**

Possède de bonnes qualités lubrifiantes et n'affecte pas les organes mécaniques. Les huiles minérales sont issues de la distillation du pétrole. Il existe les huiles:

- Sans additif
- Extrême pression (EP), elles contiennent les additifs comme le chlore, le bisulfure de Mo, le graphite et le soufre. Ces huiles ne sont pas chimiquement neutres (S —► Cu)
- Les huiles mélangés (compoundées), ce sont des mélanges d'huiles minérales et d'huiles ou graisses végétales ou animales, elles sont chimiquement neutre.

- **Les émulsions d'eau et d'huile soluble**

(5 à 10% d'huile soluble) se présentent sous forme d'un liquide de couleur blanchâtre qui allie les qualités du réfrigérant à celles du lubrifiant. Pouvant contenir aussi d'inhibiteur de corrosion et du phénol à titre de désinfectant pour éviter l'irritation de la peau.

Ces types d'émulsions sont très utilisés car à prix modique, elles assurent le maximum de durée de l'outil.

8.6. Choix du lubrifiant en fonction du matériau

8.7, Procédés d'arrosage

L'expérience a prouvé qu'à débit égal, le refroidissement est plus efficace lorsque le liquide arrive à faible vitesse sous forte section. La pièce se trouve d'ailleurs ainsi abondamment arrosée et les projections liquides sont évitées.Il existe deux types d'arrosage:• **Arrosage par-dessus. :** Dans ce cas le refroidissement est insuffisant dans le cas de fortes passes ou avances (forte section de copeau), car le jet ne frappe que le copeau qui forme écran.• **Arrosage par dessus et dessous :** L'arrosage par dessus et complété par un jet de section plus faible, mais sous pression. L'arête coupante se trouve donc atteinte directement et le refroidissementestplusefficace.

Installationd'arrosage

Chaque machine possède son dispositif individuel à réservoir, pompe, canalisation etc.. **9. Taille des copeaux**Avec un affûtage parfait, l'arête de coupe formée par l'intersection des surfaces de coupe et de dépouille est vive. Placée en situation d'usinage, l'arête s'émousse très rapidement et il se forme un léger arrondi dont la valeur du rayon n'augmente que faiblement au cours de la durée de coupe de l'outil.

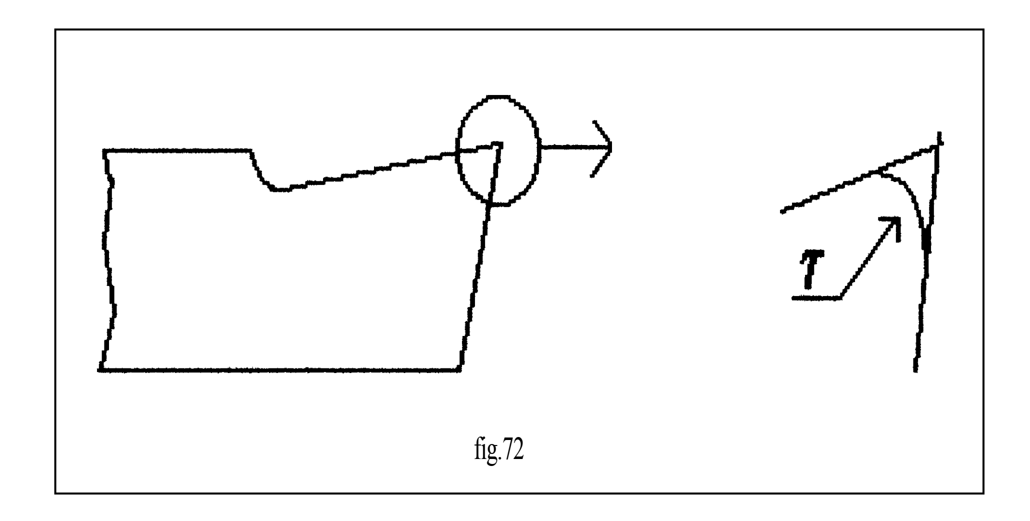


fig.72

Si l'épaisseur du copeau est inférieure à r, l'outil travail dans de mauvaises conditions: il refoule le métal, l'écrouit, et par moment, la masse de métal refoulée devant l'arête se détache.

2

3

Progressivement le métal est refoulé devant l'arête générée est écrouie

l'outil accumule de la matière devant sa face de coupe

le bourrelet de métal se rompt en s'arrachant

fig.73

La coupe est alors irrégulière, la rugosité est mauvaise, le frottement de l'outil sur la pièce est intense ce qui provoque un échauffement important, une détérioration rapide de l'outil est un gaspillage d'énergie.

On appelle épaisseur de copeau minimale e_m la valeur e de l'épaisseur au dessous de laquelle l'outil ne coupe plus correctement le métal.

Sa valeur est fonction de l'acuité de l'arête de coupe de chaque outil, de la profondeur de passe et de l'avance adoptée, du travail à réaliser - ébauche ou finition- du matériau constitutif de l'outil. Valeurs de e_m en mm, pour travaux de finition:

0.05 à 0.1 pour les aciers rapides
0.2 à 0.3 pour les carbures métalliques
0.01 pour les céramiques.

A remarquer que les outils en acier rapide permettent d'obtenir une grande finesse d'arête de coupe ce qui autorise des travaux de retouche (où il y a un faible volume de copeau à enlever) où l'épaisseur du copeau est inférieure à 0.05mm.

10. Vibrations, broutements.

Les vibrations du système machine-porte pièce, pièce-outil-porte outil, phénomène dit aussi broutement, dégradent la qualité de la surface usinée, accélèrent l'usure de l'outil et de la machine et peuvent entraîner des déréglages. Un broutement important diminue la productivité et rend même parfois impossible l'opération sur la machine outil
On distingue deux types de vibrations:

- Les vibrations forcées.
- Les vibrations auto excitées générées par le processus de formation du copeau.

• Les vibrations forcées apparaissent sous l'effet des perturbations périodiques provoquées par:

- La variation des forces qui s'exercent sur le système, variation due à la coupe intermittente ou une surépaisseur variable.

- Les effet dynamiques provoqués par un mauvais équilibrage des masses en mouvement.

- La précision insuffisante des guidages et organes de transmission.

Les causes essentielles des vibrations auto excitées, qui sont bien plus fréquentes que les vibrations forcées, sont à rechercher dans le phénomène de coupe proprement dit; ce sont: La variation de la force de frottement du copeau sur l'outil, de l'outil sur l'ébauche. L'écrouissage irrégulier de la couche enlevée suivant son épaisseur. Les variations dimensionnelles de l'arête rapportée qui modifient en cours d'usinage l'angle de coupe et la surface de la section normale de la tranche cisaillée. L'aptitude de ces variations est fonction du métal en œuvre et de ses propriétés mécaniques, des facteurs d'usinage (V_c, f, a), de la géométrie de la partie active. Les vibrations sont plus marquées pour les aciers- à ténacité élevée surtout - que pour les fontes, augmentent avec un allongement et une striction plus importants, diminuent avec l'augmentation de la dureté.

A mesure que la vitesse de coupe croît, les variation augmentent d'abord puis diminuent. Les vibrations augmentent avec la profondeur de passe mais sont moins influencées par l'avance. En augmentant l'angle de direction d'arête K. les vibrations diminuent (largeur de coupe décroissante, épaisseur croissante)

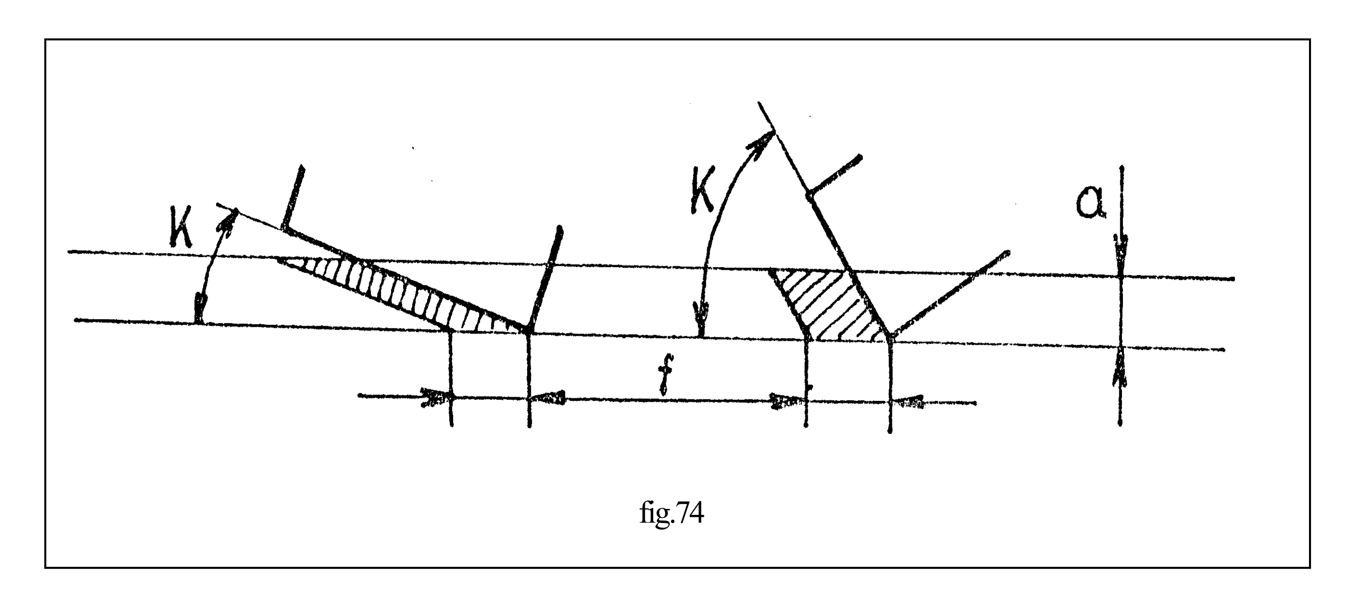


fig.74

L'utilisation d'appareillages limitant les déformations lors de l'usinage diminue le broutement (lunettes fixes ou à suivre, amortisseurs,...)

11. Durée, débit et vitesse de coupe

Le temps T de durée en état de coupe d'un outil varie avec les conditions de travail. Il est donc nécessaire de procéder à une comparaison des productions obtenues en faisons varier les paramètres fixant ces conditions de travail: l'avance f, la profondeur de passe a, la vitesse de coupe Vc, la matière travaillée, le matériau de l'outil....

11.1 .Débit d'un outil

Le débit D d'un outil est le volume de copeaux, exprimé en dm^3, que cet outil peut engendrer normalement entre deux affûtages. Soit S la section de matière coupée, Vc la vitesse de coupe et T la durée de l'outil.

$S=f*a$

$D = f*a*Vc*T*10-3$ dm^3

mm mm m/min min

Les variations d'une seule de ces conditions toutes les autres restant invariables, donnent lieu à des débits différents dont nous retiendront pour chaque cas, et pour rendre objectives les comparaisons, seulement la valeur maximale.

Les facteurs susceptibles de modifier le débit maximal d'un outil se déduisent du mécanisme de la coupe et peuvent se recenser comme suit:

- Comportement de la matière façonnée.
- Comportement de l'outil.
- Dispersion de la chaleur résultant de la coupe.
- Mode d'action de l'outil.

- Dimension du copeau. –

- Vitesse de coupe.

Dans ce qui suit, nous étudierons l'influence de ces facteurs sur le débit en fonction de la vitesse de coupe.

11.1.1 Influence de la matière façonnée.

La matière travaillée se laisse plus ou moins facilement coupée par l'outil et détruit plus ou moins rapidement ses qualités de coupe: c'est l'usinabilité, ou volume de copeau détachable jusqu'à la mise hors service de l'outil, qui définit le comportement de la matière.

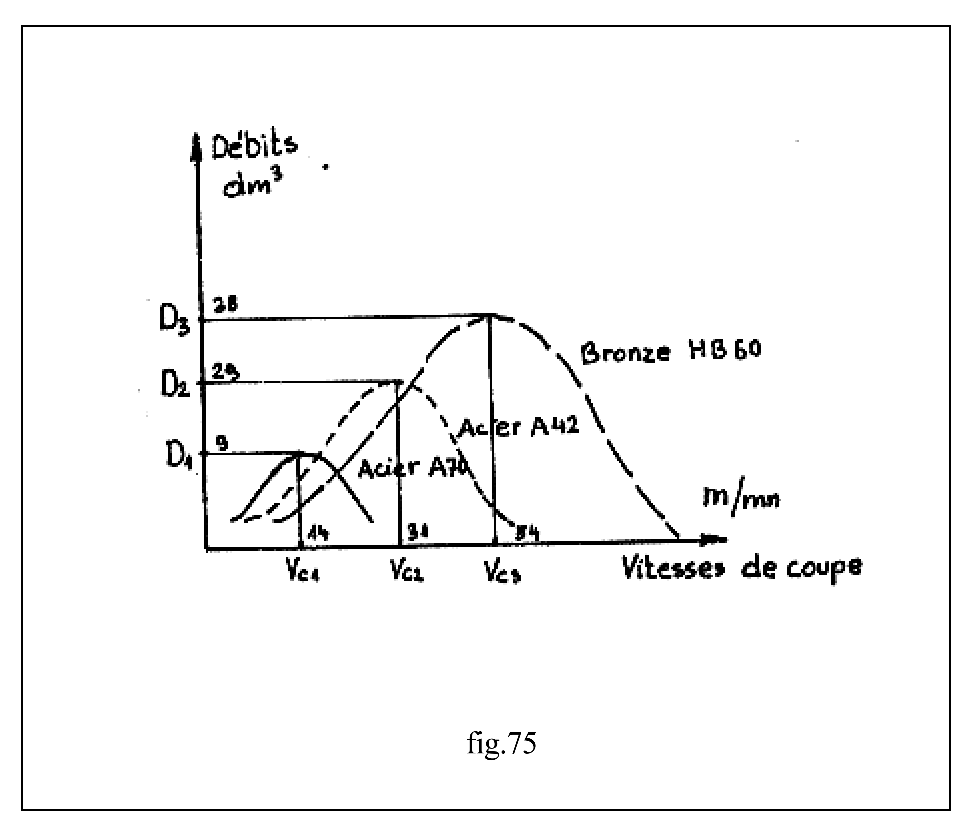


fig.75

D'une manière générale, l'effort de coupe Fc varie dans le même sens que la ténacité du métal travaillé et d'usinabilité diminue lorsque la ténacité de la matière œuvrée augmente.

Dans le cas des aciers, l'amélioration de l'usinabilité peut être obtenue par addition:

- De soufre (entre 0.2 et 0.4 %) mais les aciers produits sont impropres à la soudure et aux traitements thermiques.

- De plomb (0.15%), les aciers peuvent alors subir soudure et traitements thermiques.

- Sélénium.

11.1,2. Influence du matériau de l'outil.

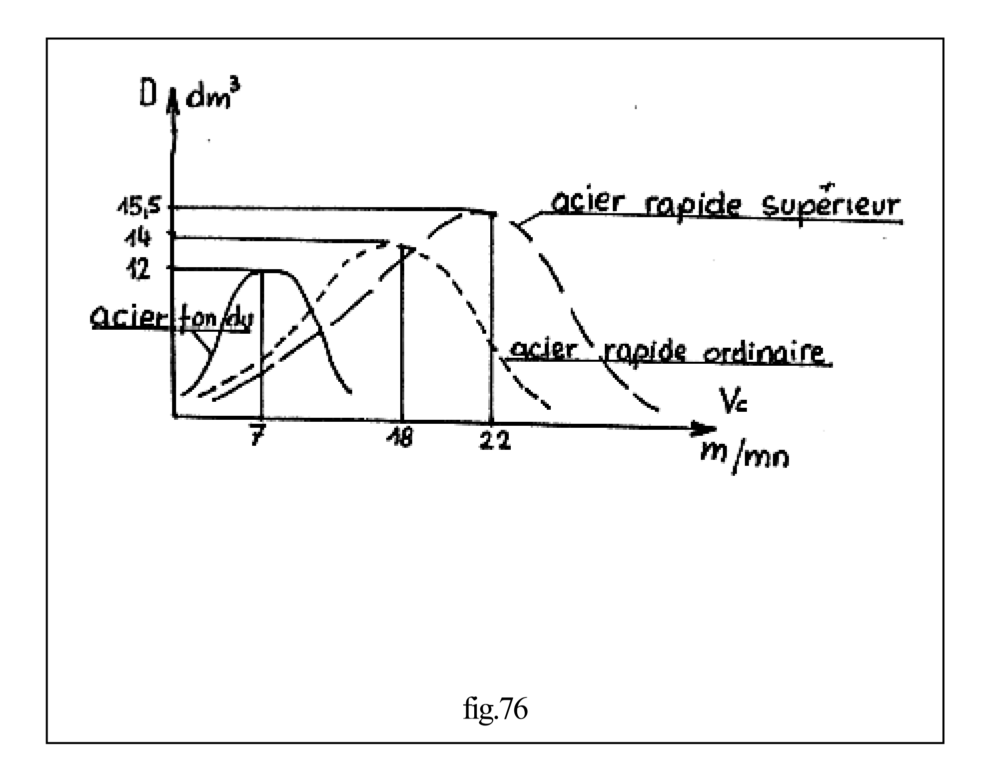


fig.76

Courbes tracées pour f= 0.5mm, a = 5mm, chariotage à sec d'un acier de Rr - 600N/mm^2.

Ces courbes montrent que plus le matériau constitutif de l'outil est dur, plus les débits et vitesse obtenus sont importants.

Les carbures et céramiques donnent des performances bien supérieurs, sortant ici du cadre de représentation (avec les échelles adoptées).

11.1.3. influence de la dispersion de la chaleur de coupe

L'arrosage ou lubrification de la coupe permet une meilleure évacuation de la chaleur tout en la diminuant, en abaissant les efforts de frottement. En comparant les valeurs maximales des débits obtenus à sec et sous lubrification abondante on constate qu'elles sont sensiblement identiques mais que la vitesse de coupe qui leur correspond est bien supérieure sous arrosage en particulier pour les aciers rapides travaillant de l'acier.

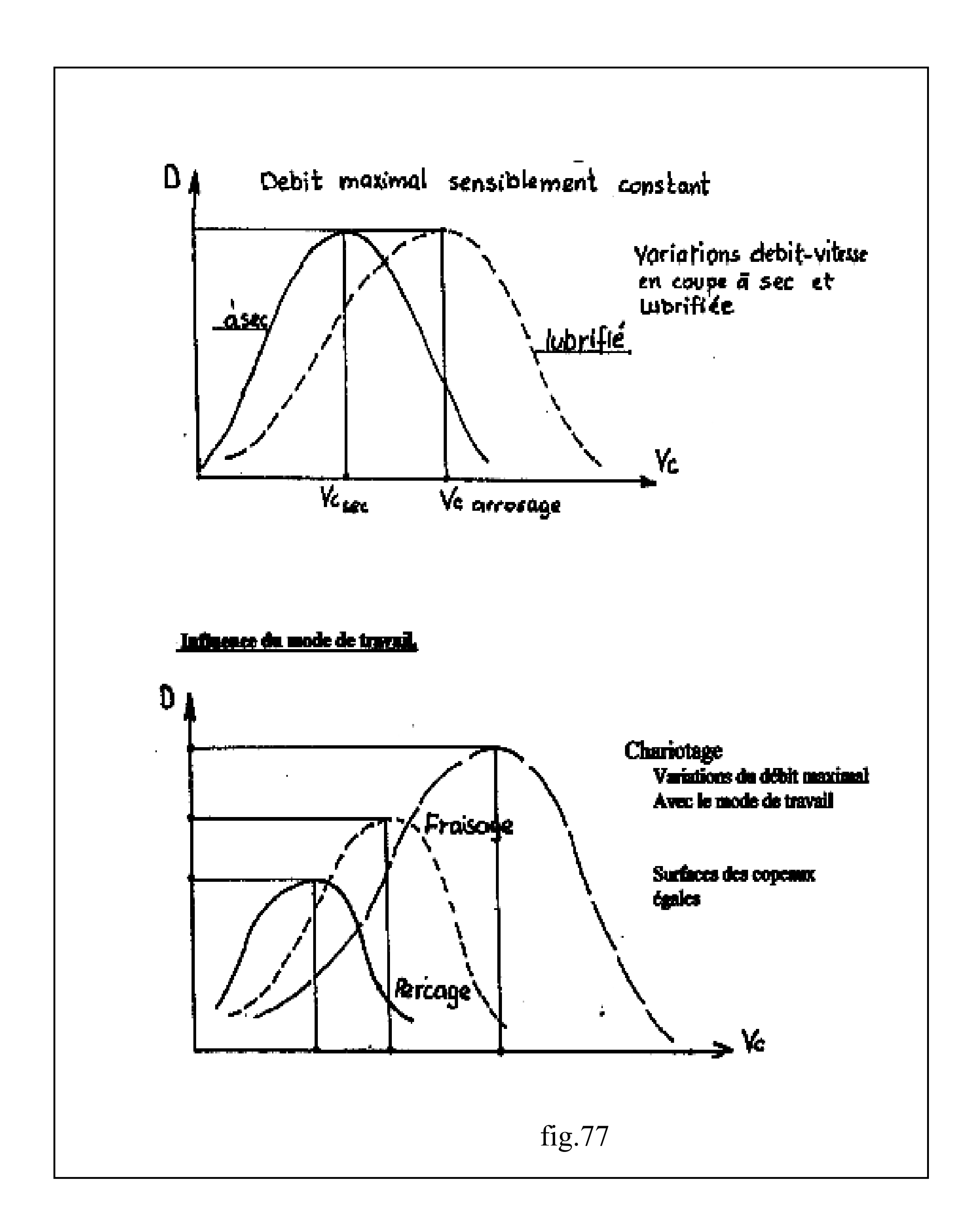


fig.77

Il est difficile de comparer les travaux de coupe par chariotage, par fraisage, par perçage, du fait que, bien que le copeau se forme de manière identique, l'arête tranchante se trouve engagée différemment dans les trois cas. A surface de copeau égale, on constate cependant que le mode de travail influe de façon sensible sur la valeur maximale du débit de l'outil- meilleure évacuation de la chaleur.

11.1.4. Influence des dimensions du copeau

Les dimensions du copeau sont un facteur déterminant de l'effort de coupe.Si l'on adopte des sections de copeaux différentes en conservant toujours le même rapport f/a (avance sur profondeur de passe) on constate que le débit maximal reste sensiblement le même. Par contre si l'on conserve une section de copeau constante (/ x $a = C^{te}$) le débit maximal varie. Par exemple, une avance, f, très réduite est associée à une profondeur de passe, a, très grande et le copeau est mince; par opposition, un copeau épais est obtenu avec une grande avance et une ***f /*** petite profondeur de passe. Lorsqu'on passe d'un copeau mince ($^{d}/$ =0.1 environ) à un copeau ***f /*** épais *v/-* 0.5 environ) le débit maximal diminue très sensiblement (de 15 à 40%). Ceci est dû au fait que le copeau épais est en contact sur une longueur moindre avec l'arête tranchante et que la disparition de la chaleur se fait moins aisément.

11.1.5. Influence de la vitesse de coupe - vitesse de moindre usure

Toutes autres conditions de coupe restant inchangées, on constate que la vitesse de coupe a une influence capitale sur le débit obtenu. Les courbes de correspondance entre débits et vitesse de coupe que nous venons de tracer le montrent clairement. Toutes ont la même forme générale: débit croissant jusqu'à sa valeur maximale lorsque V_c augmente, puis débit décroissant jusqu'à une valeur de V_c assez imprécise pour laquelle l'outil est mis presque immédiatement hors d'usage.
La valeur de la vitesse de coupe qui, dans les mêmes autres conditions de travail, correspond au débit maximal, est appelée vitesse de moindre usure. Lorsqu'on modifie ne serait-ce qu'une seule des conditions de coupe la vitesse de moindre usure se trouve aussi modifiée.

11.2.relations entre la vitesse de coupe, la durée de l'outil et le débit.

11.2.1. Loi de Taylor

A partir de 1905 l'américain Taylor développe les travaux de recherche sur la relation entre la vitesse de coupe et la durée de vie des outils. Les résultats de ses travaux sont encore à l'heure actuelle d'ailleurs approfondis et améliorés. Il a retenu douze variables:

1. durée de vie T de l'outil entre deux affûtages
2. nature de l'arrosage
3. élasticité de la pièce et de l'outil
4. puissance de la machine
5. gamme des vitesses de coupe et d'avance de la machine
6. qualité de la matière à travailler
7. composition chimique et traitement thermique de l'outil
8. forme de la partie active
9. vitesse de coupe
10. profondeur de passe a
11. épaisseur du copeau e
12. effort de pression du copeau sur l'outil.

Conservant à chaque fois toutes les variations identiques sauf V_c et T, Taylor a abouti à la **relation.**

$$V_c \times T = c \quad J$$ **Loi de Taylor**

Ou V_c vitesse de coupe en m/minute T
durée de vie en minutes
C est une constante dépendant des conditions de coupe N exposant
de Taylor prenant pour valeur
0.12 à 0.14 pour les aciers rapides ordinaires 0.15 à 0.18 pour les aciers rapides supérieurs 0.2 à 0.3 pour les carbures selon la nuance > à 0.45 pour les céramiques.

Sur le diagramme à échelle logarithmique la courbe représentative peut être assimilée à une droite (appelée droite de Taylor) dans la gamme des vitesses usuelles.

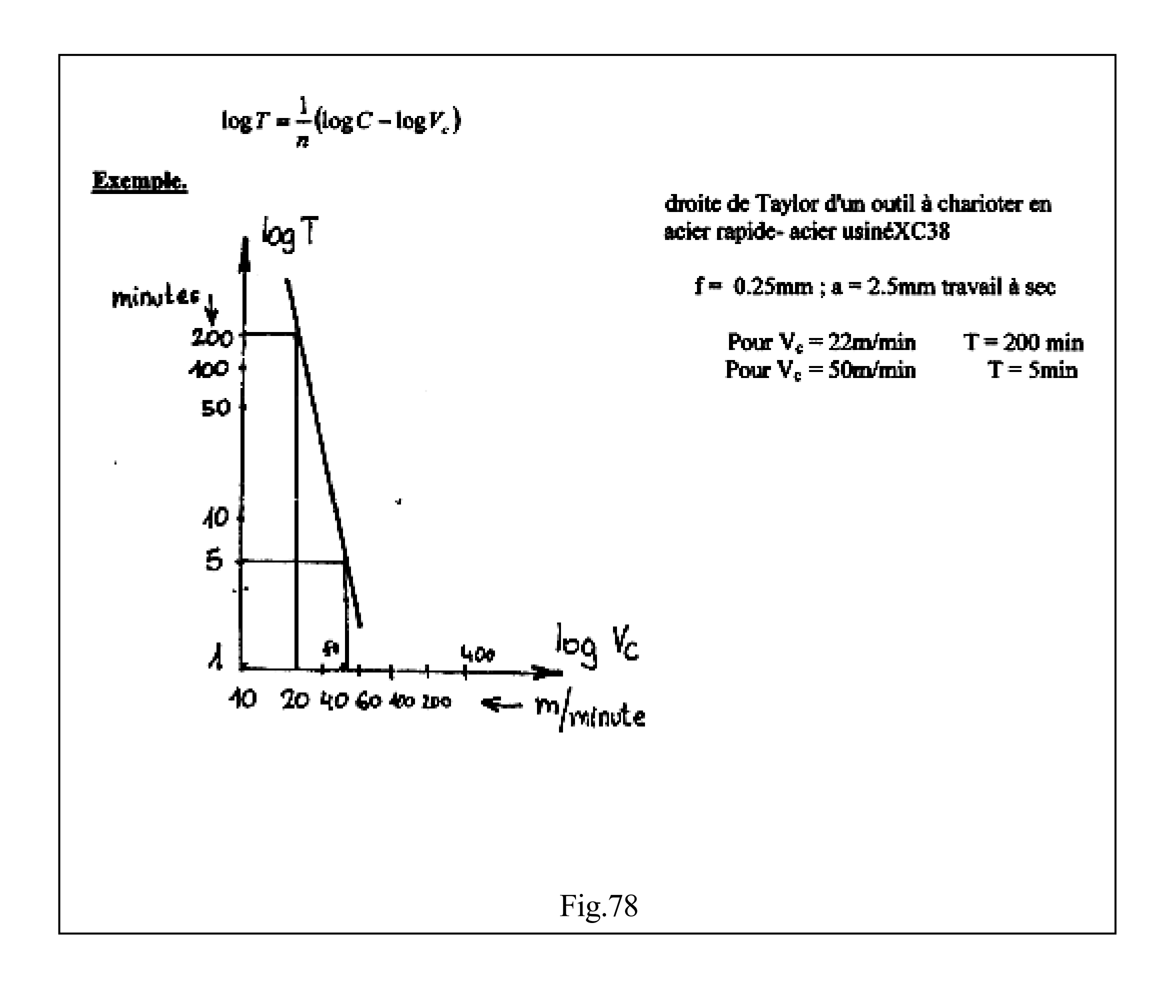


Fig.78

La loi de Taylor permet donc de déterminer, pour des conditions de coupe stabilisées, la vitesse de coupe à utiliser en fonction de la durée de coupe souhaitée entre deux affûtages. Il est donc nécessaire pour chaque cas particulier de se livrer à deux essais au maximum:

1[er] essai	**V_{c1} et T_1**	**valeurs que l'on mesure**
2[e] essai	**V_{c2} et T_2**	

$$V_{c1} \times T_1^n = V_{c2} \times T_2^n = C$$

$$\log V_{C1} + n \log T_1 = \log V_{C2} + n \log T_2$$

$$d'où \quad n = \frac{\log V_{C2} - \log V_{C1}}{\log T_1 - \log T_2}$$

La connaissance de n nous permet de déterminer C et par suite la vitesse de coupe Vc à adopter pour une durée T souhaitée de l'outil. Le débit sera donné par $D = f \times a \times Vc \times T \times 10^{3}$

11.2.2 Loi du commandant Denis

Quelque temps après Taylor, à partir de 1905, le commandant Denis s'est livré à des essais systématiques sur le débit des outils.

Il a abouti aux conclusions suivantes:

- Toutes les autres conditions de coupe restant les mêmes, le débit de l'outil varie lorsque la vitesse de coupe varie.

- Le débit maximal de l'outil conserve la même valeur lorsque la section de copeau varie seulement si l'avance f, la profondeur de passe a et la vitesse de moindre usure V_{mu} restant liées par la relation:

$$f_1^2 \times a_1 \times V_{mu1}^3 = f_2^2 \times a_2 \times V_{mu2}^3 = \dots = C^{te}$$

Loi du commandant Denis.

Cette loi porte le nom de "loi du débit constant" mais les expérimentateurs contemporains sont en désaccord avec cette appellation et ne l'acceptent que dans la mesure où le rapport des dimensions du copeau ne varie que très peu.

Les tableaux publiés par le commandant Denis permettent donc de connaître, sans avoir à se livrer à des essais, les conditions de coupe donnant le débit maximal et, par suite, la durée correspondante de l'outil.

Exemple - extrait d'un tableau: chariotage à sec avance f = 0.5mm, profondeur de passe a = 5mm outil en acier rapide supérieur

Outil en ARS-chariotage à sec. **f= 0.5mm** a = 5mm									
Matières usinées	**Laiton**	**Bronze à90%Cu 10%Sn**	**Fonte** grise	Aciers **de Rr en daN/mm 40 50 60 .80 100 110**					
Dmaxdm	**40**	**38**	**13**	23	**19**	**16**	**9**	3	**0.75**
Vcmu m/min	**62**	**54**	**36**	**31**	26	22	**14**	**8**	5

Application numérique:soit à travailler un acier de résistance à la rupture égale à 40 daN/mm . D max = 23 dm^3, $V_c$mu = 31 m/min La durée correspondante de l'outil sera :

$$D\max = f \times a \times V_c\text{-}mu \times T \times 10^{-3}$$

$$T = \frac{10^3 \times 23}{0.5 \times 5 \times 31} = 296 \text{ minutes}$$

Pour conserver le même débit D max avec

Fi= 0.6 et ai = 4 il faudra adopter une vitesse de coupe

V_c mu 1 telle que

$$F^2 \times a \times V_c^3 mu = f_1^2 \times a_1 \times V_c^3 mu1$$

$$soit$$

$$V_c mu1 = V_c mu \sqrt[3]{\frac{F^2 \times a}{F_1^2 \times a_1}}$$

$$V_c mu1 = 31 \sqrt[3]{\frac{0.5^2 \times 5}{0.6^2 \times 4}} = 29.5 m/\min$$

La durée Ti sera alors :

$$: T_1 = \frac{10^3 D\max}{f_1 \times a_1 \times V_c mu1}$$

$$T_1 = \frac{10^3 \times 23}{0.6 \times 4 \times 29.5} = 325 \text{ minutes}$$

Pour conserver le même débit Dmax avec *0.2* - 3mm, Vmu2 = 42m/min par exemple il faudra adopter une avance *Ï2* telle que

$$f_2 = f\sqrt{\frac{aV_c^3 mu}{a_2 V_c^3 mu2}} = 0.5\sqrt{\frac{5 \times 31^3}{3 \times 42^3}} = 0.4mm$$

La durée T2 sera alors:

$$T_2 = \frac{10^3 \times 23}{0.4 \times 3 \times 42} = 456 \text{ minutes}$$

Pour avoir une durée d'outil T3 = 360min par exemple, il faudra adopter $V_c$mu3, f3, a3 telles que:

$$T_3 = \frac{10D\max}{F_3 \times a_3 \times Vmu_3} \qquad V_c mu3 = Vmu\sqrt[3]{\frac{f^2 \times a}{f_3^2 \times a_3}}$$

Nous ne disposons que de deux équations pour trois inconnues mais l'indétermination est fréquemment levée par les conditions pratiques de l'usinage à réaliser qui nous donne la surépaisseur de métal à enlever ou profondeur de passe (a3).Egalons les valeurs de V_{mu}3 dans les deux équations

$$V_{cm3} = \frac{10^3 D\max}{F_3 \times a_3 \times T_3} = V_{cm} \sqrt[3]{\frac{f^2 \times a}{f_1^2 \times a_3}} \Rightarrow$$

$$F_3 \times a_3^2 = \frac{1}{F^2 \times a} \times \left(\frac{10^3 D\max}{V_{cm} \times T_3}\right)^3$$

$$F_3 \times a_3^2 = \frac{1}{0.5^2 \times 5} * \left(\frac{10^3 \times 23}{31 \times 360}\right)^3 = 7.04mm^3$$

Si l'épaisseur de métal à enlever a3 vaut 4.7 Par exemple

$$F_3 = \frac{7.04}{4.72} = 0.32mm$$

et

$$V_{cm3} = \frac{10^3 * 23}{0.32 * 4.7 * 360} = 42.5m/\min$$

Remarque: dans les trois applications précédentes on conserve un copeau dont le rapport des dimensions a peu varié et la valeur de la vitesse de coupe ne s'est pas écartée exagérément de la valeur de base donnée par le tableau.

11.3 Choix de la vitesse de coupe

De nombreux facteurs entrent en ligne de compte pour le choix de la vitesse de coupe: de la durée de l'outil aux dimensions du copeau, des efforts de coupe aux déformations pièce outil, de la puissance disponible aux gammes de coupe, d'avance, de profondeur de passe existantes, de la nature du matériau constitutif de l'outil aux angles de la partie active, de l'arrosage, du coût de l'opération.... L'énumération est longue sans être exhaustive.

Les lois de Taylor et du commandant Denis nous permettent de lier certains paramètres. L'étude de l'influence des facteurs du débit d'un outil nous a permis de déterminer la vitesse de moindre usure; mais est-ce la même que celle qui conduira à l'opération la plus économique ?

Ces valeurs, pourront-elles être exactement respectées ou faudra-1- il les adapter?

11.3.1. Vitesse de moindre usure: cas d'adoption

Nous avons vu que la vitesse de moindre usure conduit au débit maximal de copeaux donc au plus grand nombre de pièces usinées entre deux affûtages successifs. C'est donc la vitesse qui sera retenue dans les cas suivants:

- outils difficiles à confectionner
- outils dont l'affûtage revient très cher ou présente des difficultés
- outils difficiles à mettre en position ou dont le réglage est délicat.

Par ailleurs, cette vitesse conduit à un nombre de changements minimum d'outils sur le poste de travail.

11.3.2 Vitesse économique

La notion de production est indissociable de celle de coût et il n'est pas certain que la vitesse de moindre usure conduise à la production la moins onéreuse.

Nous allons donc rechercher le prix de revient d'enlèvement du volume unité (1dm) de copeaux en fonction de la vitesse de coupe.

Ce prix de revient P sera:

$$P = \sum_{i=1}^{i=4} P_i \quad \text{Avec}$$

P1 prix de production propre.

P2 prix correspondant au Montage et au réglage de l'outil.

P3 prix correspondant à la remise en état de l'outil.

P4 amortissement de l'outil.

Afin d'évaluer ces prix parcellaires nous désignerons par :

T m La durée de travail de l'outil entre deux affûtages successifs.

T1 min Le temps de montage et de réglage de l'outil.

$t_{2\,mia}$ Le temps d'affûtage et de remise en état de l'outil.

N le nombre d'affûtage que supportera l'outil.

Si Da par min, le coût de l'ouvrier productif en salaire et charges.

Ci Da par min, le coût d'utilisation du poste de travail.

$$P = \frac{10^3}{f \times a}\left[\frac{S_1 + C_1}{V_c} + \frac{t_1(S_1 + C_1) + t_2(S_2 + C_2) + \frac{R}{N}}{V_c T}\right] \quad 9$$

La loi de Taylor nous permet d'écrire:

$$T = \left(\frac{C}{V_c}\right)^{1/n}$$ Valeur que nous portons dans 9

$$P = \frac{10^3}{f \times a}\left(\frac{S_1 + C_1}{V_c} + \frac{t_1(S_1 + C_1) + t_2(S_2 + C_2) + \frac{R}{N}}{C^{1/n}} \times V_c^{\frac{1-n}{n}}\right) \quad 10$$

Désignons par:

$$k_1 = S_1 + C_1 \text{ et } k_2 = \left[t_1(S_1 + C_1) + t_2(S_2 + C_2) + \frac{R}{N}\right]\frac{1}{C^{1/n}}$$

$$\boxed{P = \frac{10^3}{f \times a}\left(\frac{k_1}{Vc} + k_2 Vc^{\frac{1-n}{n}}\right)} \quad 11$$

Le prix de revient minimal nous donnera la valeur de la vitesse économique. Dérivons P(Vc) par rapport à V:

$$P'_{1r} = \frac{10^3}{f \times a}\left[-k_1 V_c^{-2} + k_2 \frac{1-n}{n} V_c^{\frac{1-2n}{n}}\right] \quad 13$$

$$13 \text{ s'annule pour } Vc = \left(\frac{nk_1}{k_2(1-n)}\right)^n \Rightarrow Vce = \left[\frac{n(S_1+C_1)C^{1/n}}{\left[t_1(S_1+C_1)+t_2(S_2+C_2)+\frac{R}{N}\right](1-n)}\right]^n \quad 14$$

$$Vce = \frac{C}{\left(\left[t_1 + t_2\left(\frac{S_1+C_2}{S_1+C_1}\right) + \frac{R}{N(S_1+C_1)}\right] \times \frac{1-n}{n}\right)^n} \quad 15$$

En remplaçant Vce par sa valeur dans l'équation 11 il vient:

$$P\min i = \frac{10^3}{f \times a}\left[k_1\left(\frac{k_2(1-n)}{nk_1}\right)^n + k_2\left(\frac{nk_1}{k_2(1-n)}\right)^{1-n}\right] \quad 16$$

Vitesse de coupe donnant la valeur maximale du débit par unité de temps.

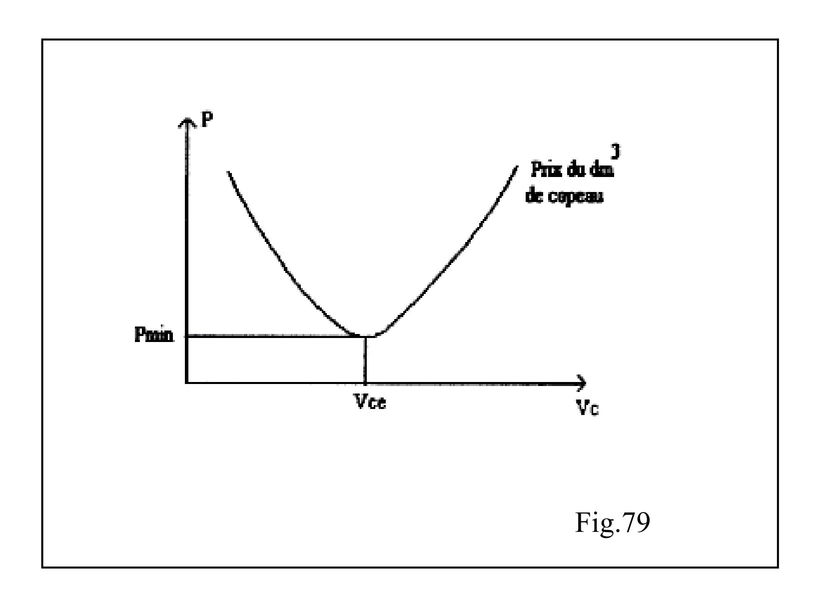


Fig.79

Si nous recherchons maintenant la variation du débit par minute, d, en fonction de la vitesse de coupe Vc nous obtenons:

$$d = \frac{D}{T + t_1} = f \times a \times 10^{-3} \times \frac{T}{T + t_1} \times Vc$$

$$avec \quad T = \left(\frac{C}{Vc}\right)^{1/n}$$

$$d = f \times a \times 10^{-3} \times \frac{C^{1/n} \times V_c^{n-1/n}}{C^{1/n} \times V_c^{-1/n} \times t_1} \qquad 17$$

La dérivée de cette fonction par rapport à Vc s'annule pour

$$Vcd\max i = \frac{C}{\left[t_1\left(\frac{1-n}{n}\right)\right]^n} \qquad 18$$

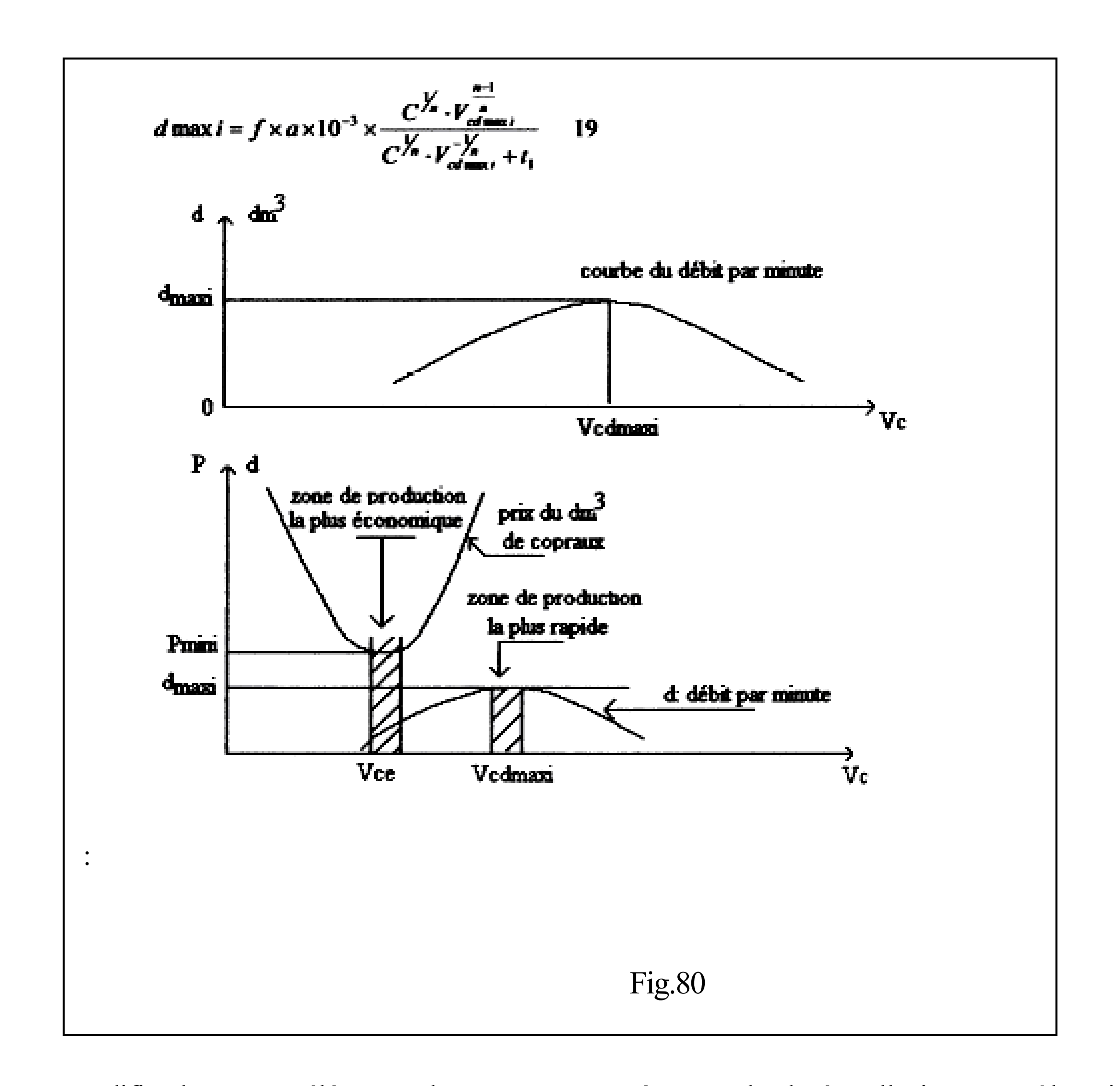


Fig.80

Et modifier les autres éléments de coupe en conséquence la durée; elle joue un rôle primordial dans la détermination de la vitesse. Rappelons l'exemple de la page 72 ou pour V_c = 22m/min la durée atteignait 3h20min alors que pour V_c = 50m/min l'outil était usé en 5 minutes. La durée est souvent choisie ou alors imposée par des considérations d'organisation de la production: synchronisation des changements d'outils sur une chaîne; remplacement lors d'un arrêt de tous les outils d'une machine comportant plusieurs outils travaillant simultanément par exemple. Il faut alors étudier le groupement des opérations et les éléments de coupe correspondants pour obtenir une production optimale.

- Gamme des vitesse: la vitesse de coupe considérée comme la mieux adaptée au cas particulier ne peut être effectivement respectée que si la gamme des vitesses de la machine-outil le permet, or, de même que pour les avances, cette gamme est normalisée et il faut donc procéder à un ajustement soit par excès, soit par défaut.

- Type de production: ce dernier élément a une importance prépondérante sur les valeurs réellement adoptées. En cas de fabrication unitaire, la pièce sera confiée à un ouvrier professionnel dont les connaissances, l'expérience et le métier lui permettent de fixer directement "in situ" les paramètres de coupe. Pour un usinage en petite ou moyenne série les règles, tableaux et abaques fournissant les renseignements suffisants, tirés de l'expérimentation et consacrés par l'usage. Dans le cas d'une production

en grande série ou en continu il est nécessaire de procéder, dans les conditions soigneusement préétablies et rigoureusement respectées, à des essais qui permettront de déterminer les éléments optimaux.

En conclusion:

Dans la pratique des abaques et tableaux donnant des plages de situation de la vitesse de coupe, vitesse que l'on peut affiner par calcul puis adapter au cas précis d'usinage à réaliser sur la machine donnée. En comparant les valeurs littérales de V_{ce} et $V_C d_{ma}xi$ on constate que la vitesse correspondant au débit, par unité de temps, maximal est toujours supérieure à la vitesse économique: l'adoption de la vitesse économique ne conduit jamais au débit maximal. Nous choisirons la vitesse de coupe dans la zone comprise entre la vitesse économique et la vitesse assurant le débit maximal: lorsque le prix de revient importe plus que la productivité on adopte une vitesse de coupe proche de la vitesse économique (excès).Lorsque la productivité est impérative (délai de fabrication très court par exemple) on adopte une vitesse de coupe proche de celle donnant le débit maximal (par défaut).

11.3.3. Adaptation de la vitesse de coupe aux impératifs matériels

La vitesse de coupe, calculée, qu'elle soit de moindre usure, économique ou conduisant au débit-par unité de temps maximum, correspond très rarement aux possibilités matérielles de déroulement de l'opération. Il est donc nécessaire de l'adapter en fonction d'un certain nombre d'éléments que nous allons recenser.

dimensions du copeau : si le profondeur de passe est en général obtenue par réglage continu et ne pose pas aucun problème, l'avance par coup ou par tour obéit à la normalisation et la gamme disponible dépend de la machine elle-même. A une avance f déterminée par calcul il faut faire correspondre l'avance réelle compatible et recalculer la vitesse de coupe définitive.

Efforts, puissance, déformations : la résistance à la coupe provoque des déformations qu'il est nécessaire de limiter pour obtenir une surface générée conforme aux prescriptions. Par ailleurs la puissance absorbée par la coupe doit être inférieure à la puissance disponible sur la machine. Or nous avons vu que F_c dont les déformations induites et Pas sont fonction de la vitesse de coupe. Si les conditions initiales retenues conduisent à des résultats incompatibles il faut alors ajuster la vitesse aux possibilités limites.

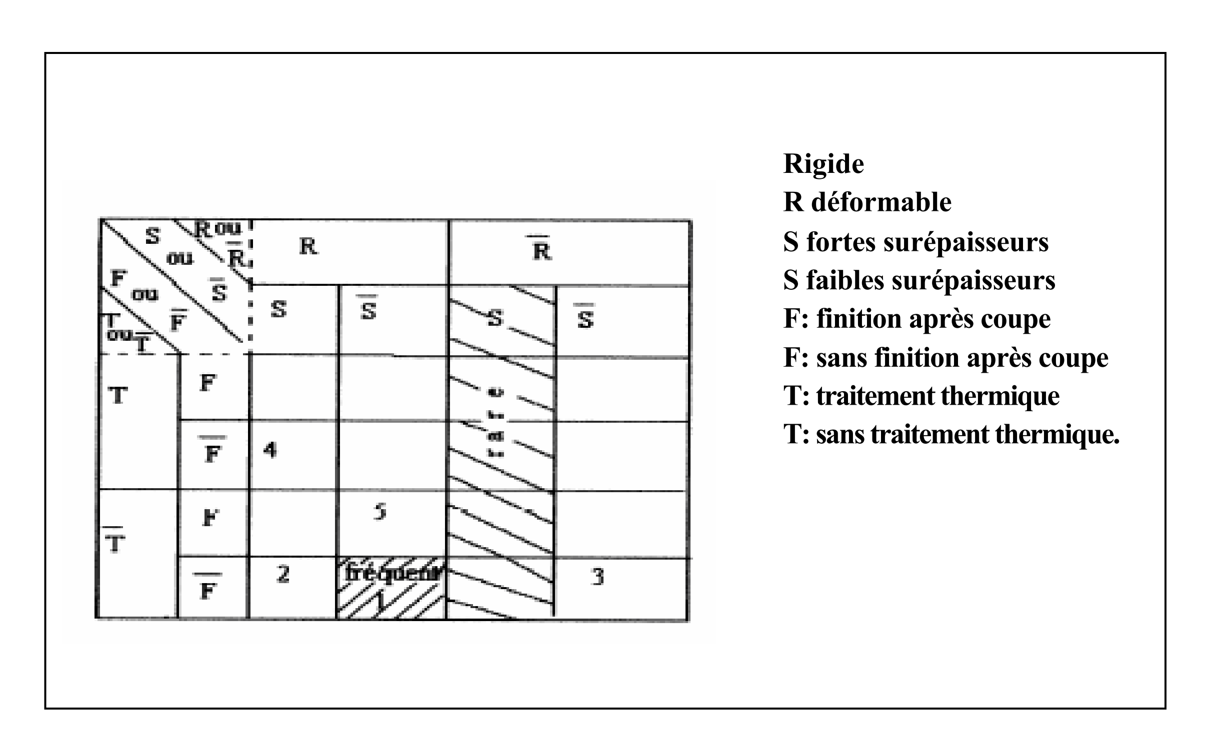
12.Etude de fabrication.

La préparation du travail, étape précédant la fabrication, requiert un esprit d'organisation, d'analyse et de synthèse minutieux. Divers documents sont alors établir qui serviront de contrat pour l'exécution des travaux. Il est nécessaire de respecter les spécifications demandées, de choisir les moyens de productions, de rechercher les solutions les plus économiques, d'établir une chronologie, de fixer les tâches à exécuter...De dresser une gamme de fabrication ou succession ordonnée de phases, de sous phases, d'opérations qui nous mènera au but recherché. Mais les pièces à réaliser ne sont évidemment pas toutes semblables et cette diversité va nous amener à envisager des gammes types de fabrication en fonction de critères que nous préciserons. Bien entendu le type de fabrication (unitaire, petite série, moyenne série répétitive ou non...) intervient également sur les moyens à utiliser.

12.1. Gammes types de fabrication

12.1.1. Catégories de pièces

L'ordonnancement des opérations d'usinage tient compte des contraintes liées aux spécifications dimensionnelles et géométriques ainsi qu'aux conditions techniques de fabrication. On peut retenir quatre critères dont le caractère existe ou n'existe pas.- rigide R ou déformation *R* : les notions de rigidité ou de déformation sont à évaluer en fonction de la morphologie de la pièce et de la provenance, selon le procédé d'obtention, qui peut provoquer ou non des tensions internes. Avec fortes surépaisseurs S, sans fortes surépaisseurs *S* : les fortes surépaisseurs se rencontrent fréquemment lorsque les pièces sont liées à la masse, ce qui conduit à un important volume de copeaux à enlever et aux conséquences en découlant. Par contre, les pièces usinées à partir de bruts élaborés par moulage ou par forgeage présentent de faibles surépaisseurs; ce qui réduit le volume de copeaux à tailler, le temps d'occupation machine... Avec traitement thermique T ou sans t-th *T:* ce critère est lié directement aux spécifications découlant du dessin de définition et impose des sujétions quand à l'ordre des opérations. Avec finition après la coupe F ou sans *F* l'existence de surfaces à terminer par rectification, rodage ou superfinition impose l'emploi des machines requises et le respect de certaines précautions. Le classement des pièces d'après ces quatre critères donne lieu à seize catégories théoriquement possible.



Ces seines catégories théoriques se rencontrent très inégalement dans la réalité. S'il est très fréquent de trouver des pièces du type *R S F T* (rigide, à faible surépaisseur, sans traitement thermique ou finition spécial) il est par contre rare d'avoir à usiner des pièces du type *R* S (déformables avec fortes surépaisseurs).La connaissance de la catégorie dans laquelle rentre la pièce permet de se référer à la gammetypecorrespondante.

12.1.2.Exemplesdegammestypes.

Nous allons traiter les cinq cas les plus couramment rencontrés, repérés 1-2-3-4-5 sur le tableau ci-dessus, en indiquant le processus général de fabrication et en visualisant par une pièce simple.

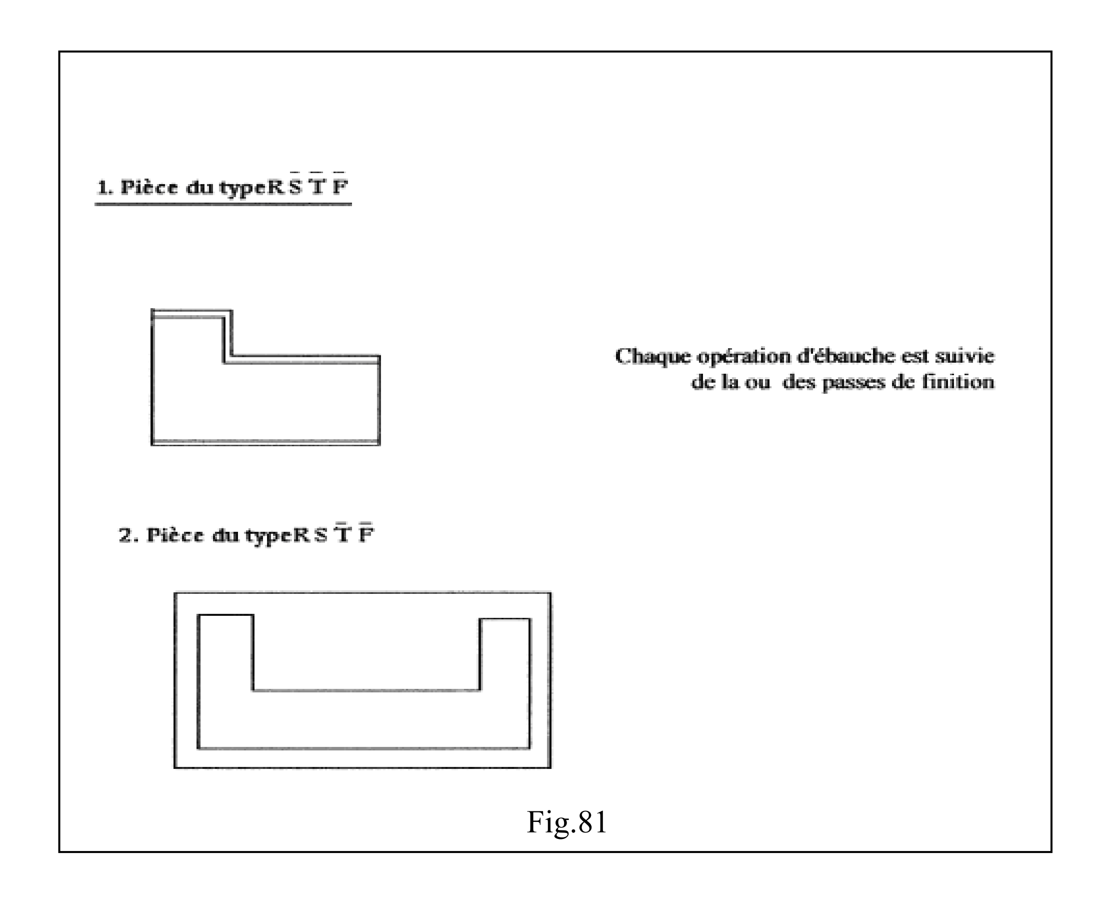
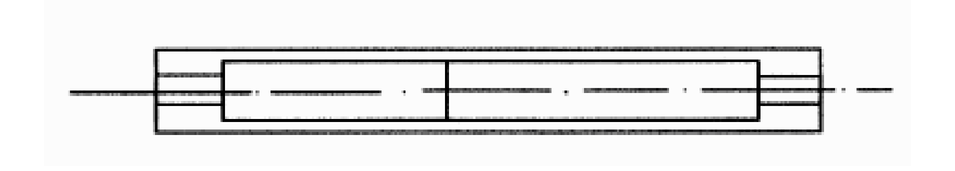


Fig.81

L'enlèvement de fortes surépaisseurs modifie l'équilibre des tensions internes dans la pièce. On risque alors, surtout si le matériau est a structure fibreuse (obtenu par laminage, étirage par exemple), de voir apparaître des déformations après usinage. Il est donc nécessaire de procéder de la façon suivante:

1. faire une ébauche complète à 1 ou 2mm des cotes de finition.
2. pratiquer un redressage éventuel.
3. faire un traitement de stabilisation.
4. achever par semi-finition et finition.

12.1.3 . Pièce du typeRS T F



Les efforts d'ablocage et de coupe déforment la pièce. Il faut donc dans ce cas :1.prévoir des appuis réglables évitant les déformations.2.réduire les efforts de coupe en diminuant la section cisaillée. (a et f plus faibles).3.éventuellement, prévoir une ébauche complète de toutes les surfaces, redresser la pièce et procéder à la pièce et procéder à la finition.

12.1.4 . Pièce du typeRS T F

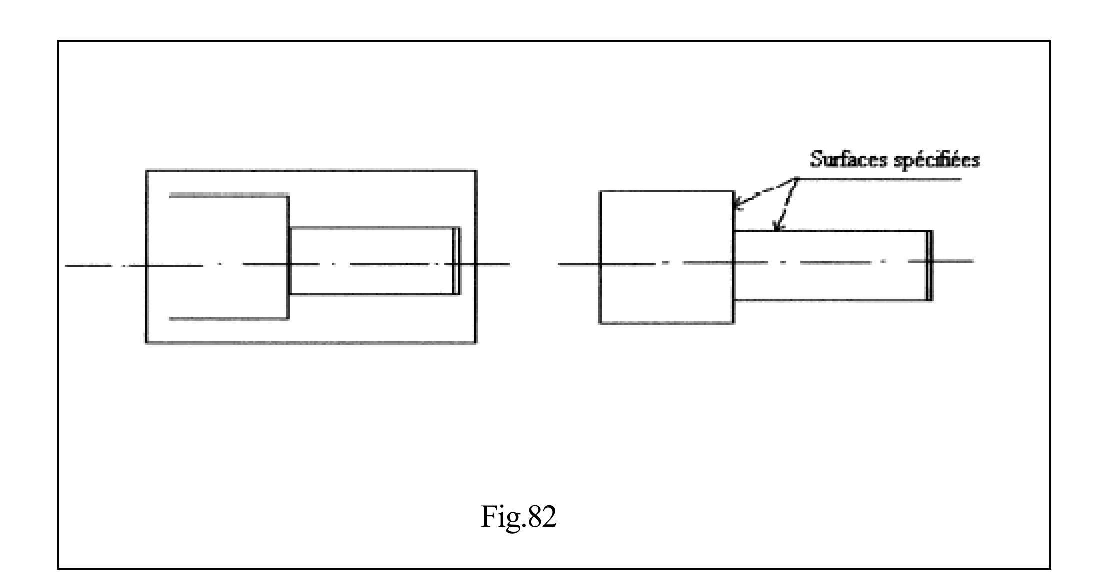


Fig.82

Pour les pièces présentant un traitement thermique:1.Procéder à l'ébauche des surfaces lubrifiées, à l'ébauche et finition des autres surfaces.2.faire passer les pièces au traitement thermique.3.exécuter le finition en fonction de la nouvelle résistance à la rupture du matériau traité: plus la dureté et la résistance augmentent plus les surépaisseurs à laisser après ébauche doivent être faibles

12.1.5. Pièce du type KS T F

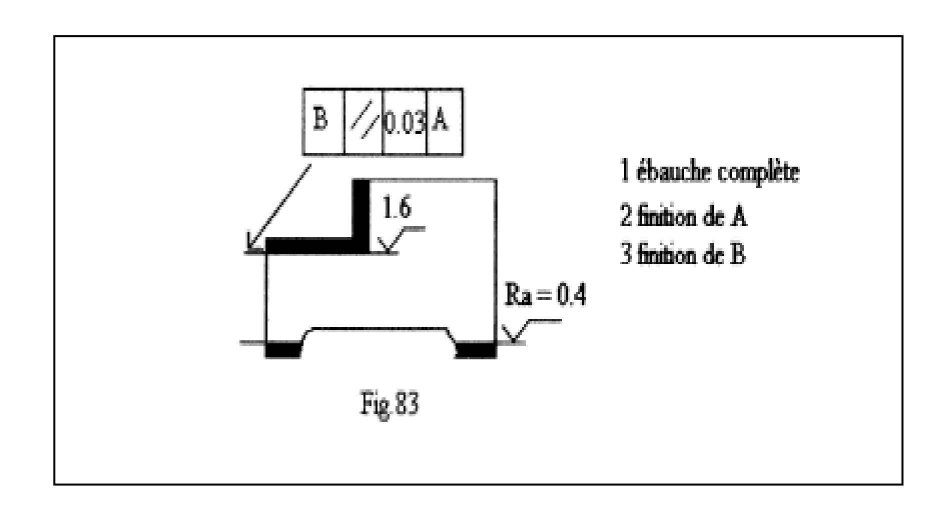


Fig 83

La pièce comporte une ou plusieurs surfaces finies par rectification ou procédés de superfinition. Ces surfaces sont fragiles et doivent être réalisées après ébauche complète de la pièce. Malgré tout elles doivent être exécutées avant la finition des surfaces qui les ont comme antériorité dimensionnelle ou géométrique.

Le rodage et la superfinition se pratiquent toujours après la rectification et en fin de gamme de fabrication.

12.2 Méthodes de fabrication

Les moyens à mettre en oeuvre, fonction de délais, de cadence, du potentiel humain et technique, des investissements possibles, dépendent de la méthode de fabrication adoptée (qui doit conduire à une production d'un coût minimal) en relation avec le type de fabrication.

Fabrication unitaire ou assimilée

réalisation de prototype, de montages d'usinage ou d'assemblage, d'outillages spéciaux, réparation....En général, la gamme d'usinage est établie par le bureau des méthodes mais l'organisation de l'usinage à l'usinage à l'intérieur de chaque séquence est laissée à l'initiative de l'exécutant. Les moyens à mettre en œuvre sont les machines outils universelles avec leurs équipements standards (porte-pièces, outils normalisés, matériel de contrôle) confiées à des professionnelsqualifiés.

Petite série: fabrication dont la qualité est limitée par le marché (accessoires de machines-ouitls -marine...); fabrication de présérie en vue du lancement d'un nouveau produit.

Le bureau des méthodes organise la fabrication de façon plus directive que pour les fabrications unitaires; les machines universelles sont équipées de dispositifs spéciaux. Utiliser également des machines adaptées à la petite série telles que: tour semi-automatique, tour à fileter, perceuses à broches multiples, fraiseuses à cycles, tours-fraiseuses, perceuses à commande numérique, confiées à des professionnels qualifiés.

Moyenne ou grande série répétitive : Très souvent la fabrication d'un nombre important de pièces est réalisée par lot. La préparation de la fabrication prend une grande importance, le prix de revient doit être aussi bas que possible et les rebuts très limités, l'exécutant n'a plus que peu d'initiatives. Les moyens à mettre en œuvre sont plus importants: machines classiques de production à cycle semi-automatique ou automatique, machines spéciales réalisées en éléments modulaires standards, MOCN

à changement automatique d'outil, automatisation des moyens de servage, outils standards et spéciaux, montages d'usinage et de contrôle adaptés aux produits à fabriquer. En général le réglage du poste de travail est effectué par un professionnel, la production est conduite par un ouvrier spécialisé.

Grande série continue : Quand le nombre de pièces devient très important, une fabrication ininterrompue peut être envisagée sur plusieurs mois ou même années. Les moyens de production sont construits autour du produit à fabriquer; la préparation du travail est très poussée et ne laisse aucune initiative à l'exécutant. Les machines spéciales automatisées sont disposées en fonction du transfert automatique des pièces de poste en poste. On emploie des montages d'usinage automatisés, des outils standards ou spéciaux, les dessertes d'approvisionnement et d'évacuation sont automatiques- robots- ateliers flexibles- le réglage du poste de travail est assuré par un professionnel, la production est conduite par un ouvrier spécialisé qui n'a souvent qu'un rôle de surveillance en poste automatisé.

12.3. Analyse de fabrication

Une analyse de fabrication a pour l'organisation de la fabrication en définissant l'ordre chronologique des différentes étapes à respecter les spécifications imposées et à diminuer autant que possible les coûts.

Les données du problème sont généralement:

- le dessin de définition de la pièce
- le nombre de pièces à produire
- le type de fabrication
- les dossiers des machines disponibles et le plan de charge de ces machines
- l'outillage
- les délais
- la main-d'œuvre.

On peut distinguer quatre étapes dans l'analyse de fabrication.

1. choix du procédé d'obtention du brut capable
2. établissement du projet d'étude de fabrication
3.établissement des différents contrats de phase et du dossier de fabrication.
4. suivant les cas la conception des appareillages spéciaux

12.3.1 Choix du procédé d'obtention du brut capable

Ce choix est arrêté conjointement par le bureau d'études, le bureau des méthodes usinage et le service spécialisé dans la fabrication des bruts (fonderie, forgeage, mécano-soudure...). On fixe alors le dessin de définition du brut capable dont les spécifications doivent conduire à un usinage aussi restreint que possible et être compatibles avec des procédés économique d'obtention. Formes, surépaisseurs, minimalisation de la quantité de matière, rigidité, facilité d'obtention... sont des facteurs devant rester constamment à l'esprit dans cette étape.

12.3.2. Projet d'étude de fabrication

Il définit la suite ordonnée des différentes phases intervenant dans la fabrication, les postes de travail, les moyens techniques et humains nécessaires. Il faut d'abord repérer le genre de pièce et la gamme type et identifier les surfaces à usiner.

Inventorier les postes nécessaires à la génération des surfaces que l'on a identifiées, faire les groupements des surfaces associées par usinage. Repérer également les surfaces brutes liées par une spécification aux surfaces usinées.

Analyser les spécifications géométriques et dimensionnelles. Rechercher les opérations d'usinage et choisir les surfaces de départ.

Fixer le processus optimal d'usinage ou ordre logique des opérations en inventoriant les moyens techniques et humains nécessaires. On établit ainsi la gamme générale.

12.3.3. Etablissement des différents contrats de phases et du dossier de fabrication

Un contrat de phase est établi pour chaque phase d'usinage. Il donne les renseignements relatifs à :

- la phase : numéro de phase; poste de travail, porte pièce adopté.

- La pièce : nom de la pièce et de l'ensemble auquel elle appartient, nombre de pièces à fabriquer, matière, origine du brut- croquis de la pièce à l'état ou elle se trouvera en quittant le poste de travail. Si la phase comporte des sous phases on établit un croquis pour chacune.

Le croquis comporte les surfaces à usiner en traits forts, les symboles normalisés, le maintien en position, les cotes et tolérances, les outils.

- aux opérations : ébauche, demi-finition, finition et les cotes intermédiaires.
- Aux outils à employer
- Aux conditions de coupe V_c, f, a
- Aux moyens de contrôle.

12.4. Obtention d'une pièce sur machine outil à commande numérique (MOCN)

Les machines outils à commande numérique se classent en deux catégories selon qu'elles fonctionnent en "boucle ouverte" ou en "boucle fermée". Schéma général.

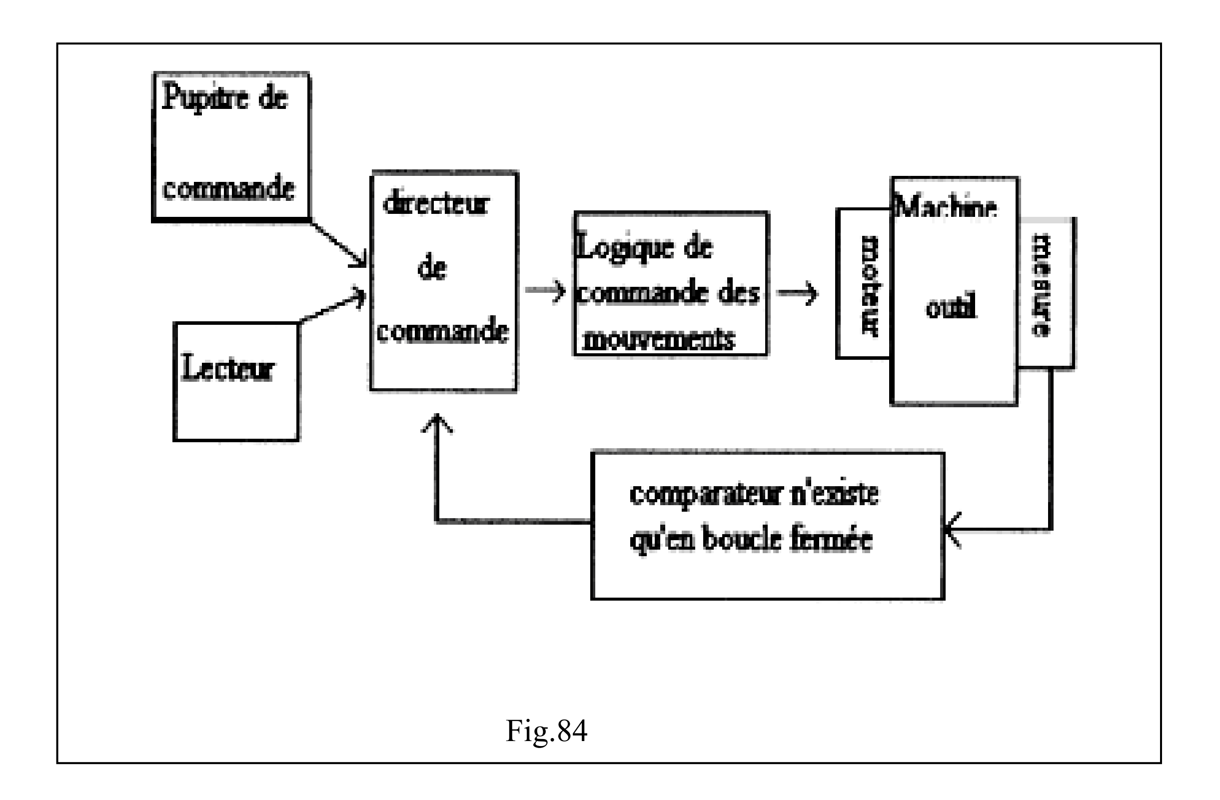


Fig.84

En boucle ouverte les ordres de déplacement donnés aux moteurs d'entraînement des organes mobiles ne dépendent uniquement que des instructions de travail, alphanumérique codées, portées par des bandes ou cartes perforées, bandes magnétiques.. .il y'a pas de système de mesure. -En boucle fermée, les ordres de déplacement donnés aux moteurs d'entraînement dépendent des instructions de travail, alphanumérique codées, portées par la bande et des informations données par un dispositif qui masure de façon continue la position des organes mobiles

12.4.1 Avantages des machines outils à commande numérique

Les machines outils à commande numérique présentent de nombreux avantages comparées aux machines outils classiques mais nécessitent un investissement initial bien plus élevé et un entretien plus onéreux. Elles conduisent à :

- une augmentation de la productivité car les opérations d'usinage s'enchaînent sans que l'opérateur ait à intervenir, les temps de changement et déchargement sont réduits. Le temps de coupe peut atteindre 80% du temps d'occupation machine sur M O C N contre 30% sur machines-outils conventionnelles.

- une réduction des frais d'outillage

- un regroupement des opérations de par leur caractère multifonctionnel.

- une réduction du coût des contrôles qui provient du fait que la fréquence de vérification diminue.

- une répétabilité de l'usinage qui facilite l'interchangeabilité des pièces et élimine les rebuts provenant d'erreurs faites par l'opérateur.

- une souplesse d'exécution qui facilite les modifications car il est beaucoup plus simple et moins coûteux de modifier un programme qu'un outillage.

- une obtention de surfaces, par travail en contournage, qui ne peuvent être usinées sur machines traditionnelles.

- une possibilité d'emploi quel que soit le type de fabrication (unitaire, petite série...) - 80% des pièces mécaniques réalisées dans le monde faisant l'objet de lancement de séries de moins de 20 unités.

12.4.2. Obtention d'une pièce par commande numérique

Comparaison schématisée M O C N, M O classique.

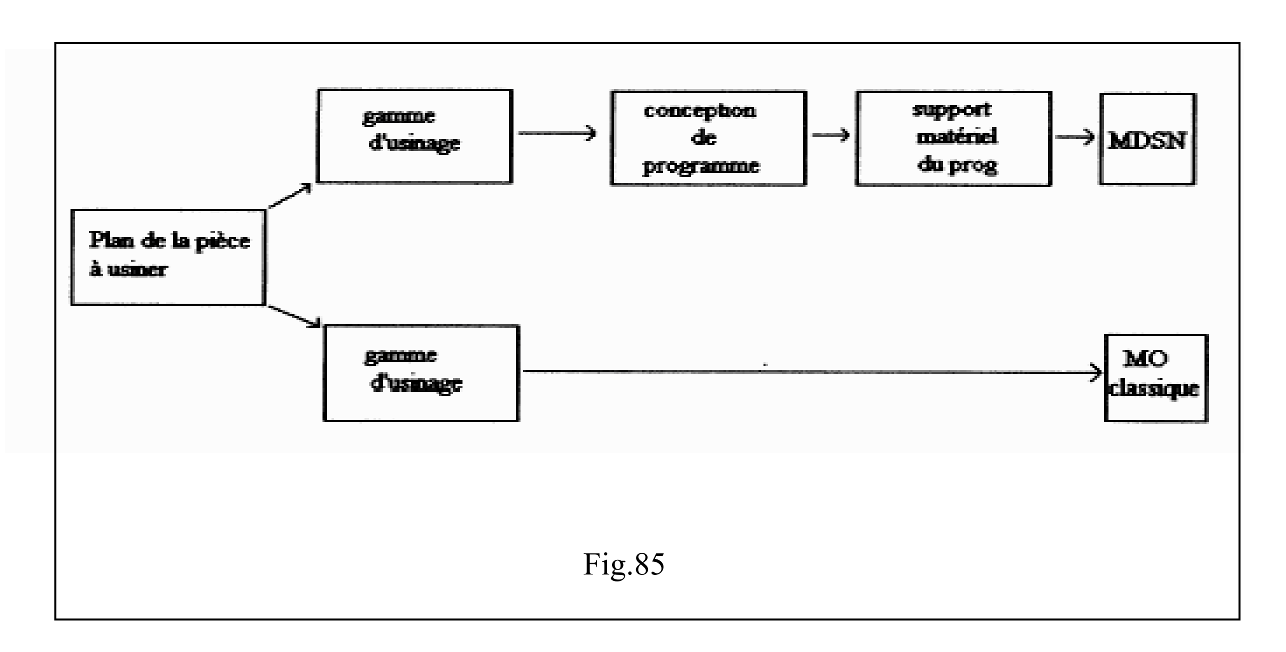


Fig.85

L'étude de fabrication conduit également à l'établissement de la gamme de fabrication qui sera exploitée pour la conception du programme qu'il faudra ensuite mémoriser sur support matériel.

conception du programme.

Déterminer l'implantation de la pièce sur la machine concevoir le porte pièce qui doit permettre la mise en position, le dégauchissage et l'ablocage de la pièce sur la machine.

Etablir la liste de toutes les opérations nécessaires par ordre chronologique.

Calculer les coordonnées des points à atteindre.

Prévoir tous les déplacements des organes mobiles et les changements d'outils.

Choisir les vitesses de rotation des broches et les vitesses de déplacement des organes mobiles.

Indiquer les instructions relatives à l'arrosage, au sens de rotation des broches, au sens de déplacement des organes mobiles, aux blocages en position....

Reporter, en utilisant un langage machine; toutes les instructions sur une feuille de préparation. Le listing de programmation indique donc toutes les positions que doivent occuper le ou les organes mobiles, précise les fonctions auxiliaires et préparatoires.

Support des instructions de travail

Les instructions ou ordres alphanumériques sont consignés et mémorisés sous forme codée par l'intermédiaire

- de cartes perforées
- de bandes perforées (largeur 25.4mm trous 1.2 et 1.8mm) qui sont les supports les plus utilisés.
- de bandesmagnétiques.

Programmation absolue ou relative

en programmation absolue le programmeur indique les coordonnées des points à atteindre en fonction d'un système d'axe fixes par rapport à la pièce.

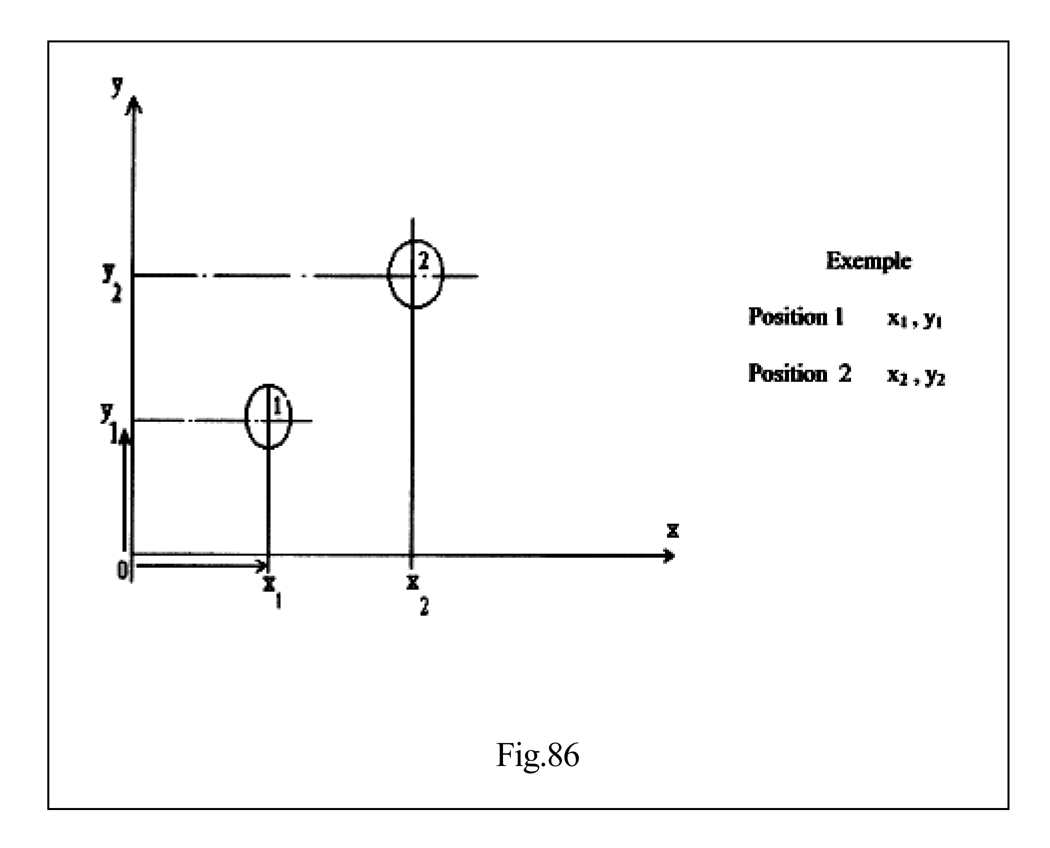


Fig.86

Les cotes des positions successives sont indiquées par rapport à un point de départ ou origine fixe. En programmation relative le programmeur indique les déplacements entre usinages successifs; L'extrémité d'un déplacement devient l'origine du déplacement suivant.

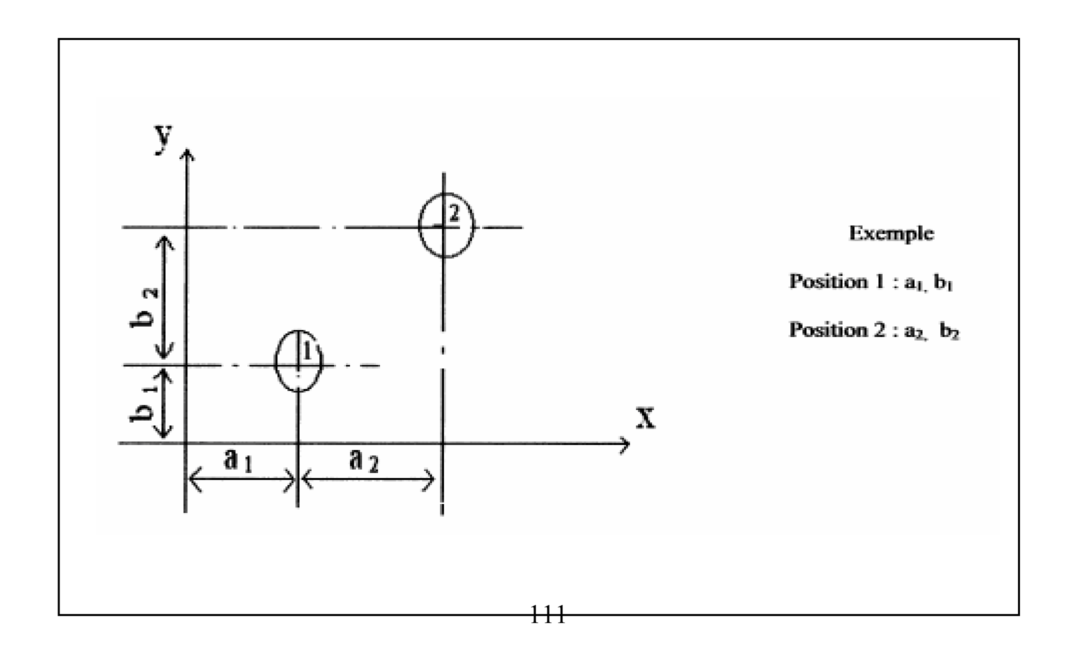


Fig.87

On indique la valeur des déplacements successifs et non pas la cote des points auxquels I'outil

doit se rendre.

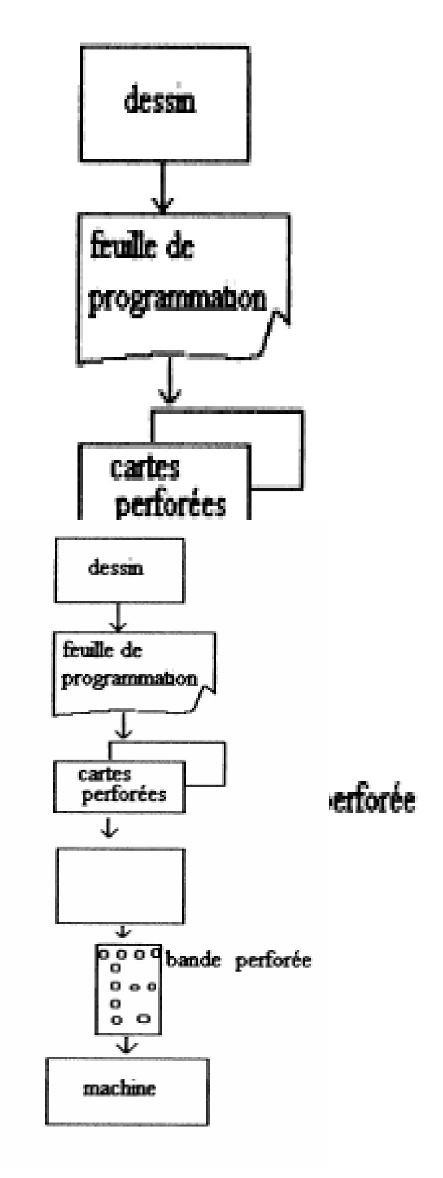
Programmation manuelle ou automatique

La programmation manuelle (dite aussi manuscrite) peut s'effectuer en langage machine, ou en langage symbolique et elle sera alors dite automatique. La programmation manuscrite en langage machine est utilisée par l'usinage des pièces simples. Le langage comporte des mots, suites de caractères alphanumériques, et des blocs, groupes d'instruction élémentaires. A chaque bloc d'instructions correspond à une séquence d'usinage.
Un format indique qu'elle doit être la position différents mots dans le bloc. Lorsque le format est fixé les blocs ont une longueur identique et comportent le même nombre de mots toujours placés dans le même ordre; alors que dans le format variable, seules sont indiquées les instructions ayant changé d''un bloc à l'autre:la longueur du bloc est variable.
La programmation manuscrite en langage symbolique consiste à donner une description symbolique du travail à effectuer au moyen de macro-instructions qui permettent un traitement du programme en ordinateur.

Le passage en ordinateur permet de réduire de façon très appréciable les interventions du programmeur car tous les calculs sont pris en compte. Cette programmation est également appelée programmation automatique. Les langages utilisés sont nombreux: **APT, IFAPT, ADAPT** ...
L'ordinateur est chargé d'exécuter :

- Les calculs relatifs aux déplacements des organes mobiles.
- Les changements de systèmes de référence.
- Les transcriptions des informations.
- La génération du langage machine.
- La perforation automatique de la bande programme et, dans une certaine mesure, le contrôle du programme.

Etape de la programmation automatique:



Etude du dessin de la pièce: définition des formes et des dimensions.

Rédaction de le feuille de programmation. Elle comporte les informations exprimée dans le langage symbolique choisi: données technologiques, de formes; description des opérations d'usinage...

Transposition de la feuille de programmation sur cartes perforées

Passage des cartes perforées en ordinateur. Il achève la programmation et réalise la bande perforée destinée à la machine outil.

Mise en place de la bande perforée sur le directeur de commande.

Réalisation de la pièce par introduction automatique des informations.

13.Outilsàraboteretàmortaiser

13.1Machinesàraboter

IL existe deux types

13.1.1 Les étaux limeurs

Réservés à l'usinage des pièces des petites et moyennes dimensions (longueur maximale 600mm) en travail unitaire.

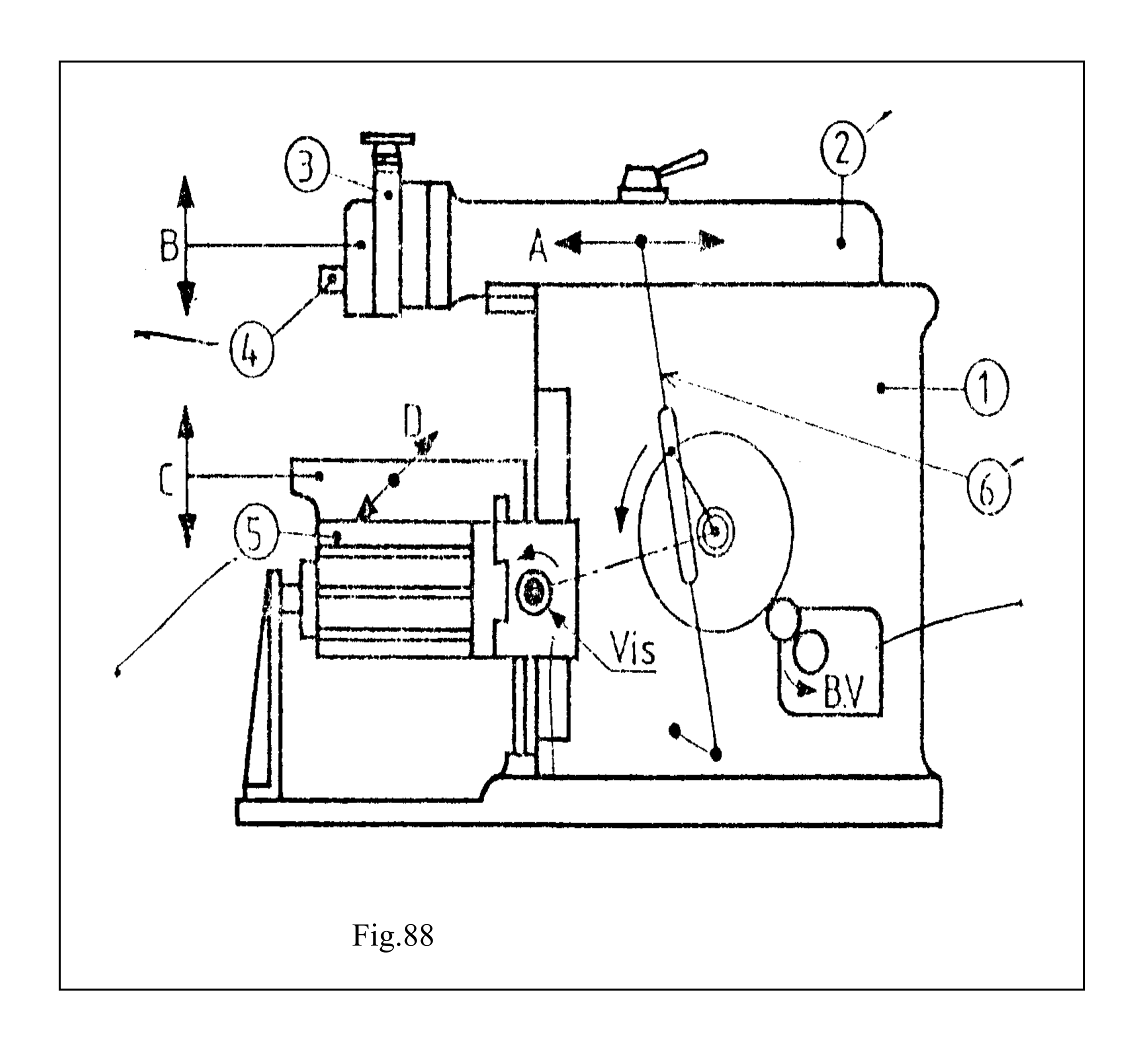


Fig.88

Les mouvements possibles dans un étau limeur sont:

A: mouvement rectiligne alternatif appelé mouvement de coupe.

B: mouvement de monte et baisse du porte outil.

C: mouvement de monte et baisse de la table porte-pièce.

D: mouvement transversal de la table porte-pièce.

13.1.2. Les raboteuses

La pièce est montée sur une table animée d'un mouvement de coupe rectiligne alternatif. Ces machines sont réservées à l'usinage des pièces de moyennes et grandes dimensions en travail unitaire et en service.

13.1.3.Les raboteuses

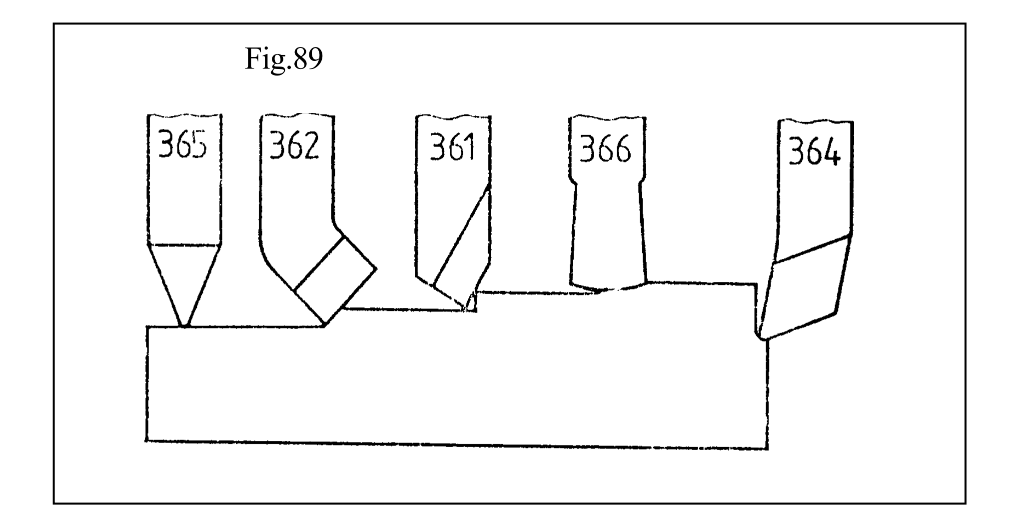
La pièce est montée sur une table animée d'un mouvement de coupe rectiligne alternatif. Ces machines sont réservées à l'usinage des pièces de moyennes et grandes dimensions en travail unitaire et en service.

13.2 Différents types d'outils Tous les outils de tournage extérieur sont utilisables pour les travaux de rabotage tels que

surfaces planes, rainures rectilignes aux profiles divers. Les parties actives sont fabriquées:

- en acier rapide (NF E 66-361 - 366)
- en carbure métallique

Les outils à plaquettes basées sont normalisés (NF E 66-31 à 366). Ils ne sont utilisables avec profit que sur des machines puissantes et en bon état. Les nuances doivent être choisies avec soin pour résister aux chocs (M 40 et P 50).



13.3 .Génération des surfaces par rabotage.

Type d'usinage	Outil	Schéma et mouvements	Travail sur étau limeur	Travail sur raboteuse
① **Dressage horizontal**	Droit à charioter. NF E 66-361. à gauche à droite α f	Mf2 Mc2 Mf1 Mc1 α f par coup	**• Mouvement d'avance communiqué :** • à la pièce à chaque fin de course, retour de l'outil (M_{f_1}). **• Mouvement de coupe communiqué :** • à l'outil (M_c). **• Pénétration communiquée :** • à l'outil.	• à l'outil à chaque fin de course, retour de la pièce (M_f). • à la pièce (M_c). • à l'outil.
② **Dressage vertical**	Coudé à charioter et dresser à gauche ou à droite. NF E 66-362. Kr α a	Mf1 Mc a Mf1	**• Mouvement d'avance communiqué :** • à la pièce (M_{f_1}) ou à l'outil (M_f). **• Pénétration communiquée :** • à la pièce.	• Toujours à l'outil (M_f). • à l'outil.
③ **Finition d'un épaulement**	Outil à dresser d'angle à gauche ou à droite. NF E 66-364. Kr Mf2 Mf1 Mf2 Mf1	① a1 a2 ②	**• Mouvements d'avance communiqués :** • à l'outil M_f ou à la pièce M_f, pour usiner ① • à la pièce M_f pour usiner ②. **• Pénétration communiquée :** • à la pièce pour a_1. • à la pièce ou à l'outil pour a_2.	• Toujours à l'outil. M_f pour usiner ①. M_f pour usiner ②. • Toujours à l'outil.
④ **Ruinure droite ou circulaire**	Outil à rainurer. NF E 66-367. Mf Kr Mf	① ② ③ ① ② ③	**• Mouvement d'avance communiqué :** • à la pièce M_f. • ou à l'outil M_f. **• Les usinages de ①, ②, ② sont associés :** ① et ② résultent d'une génération ponctuelle. ③ résulte d'une génération linéaire.	• à l'outil M_f.
⑤ **Dressage horizontal en finition (planage)**	Outil à planer. E 66-366. α α l L l ≈ 1/3 L	Mf1 α f Mf1 α = de 0,1 à 0,2 (suivant R) f : ≈ 1/3 L	**• Mouvement d'avance communiqué :** • à la pièce M_f. **• Pénétration communiquée :** • à l'outil.	à l'outil M_f. • à l'outil.

14. Les outils de tournage

14.1.Les tours

On peut les classer en deux catégories:

a} les tours parallèles à charioter et à fileter

Ils sont essentiellement utilisés dans les ateliers d'outillage ou de fabrication à l'unité.

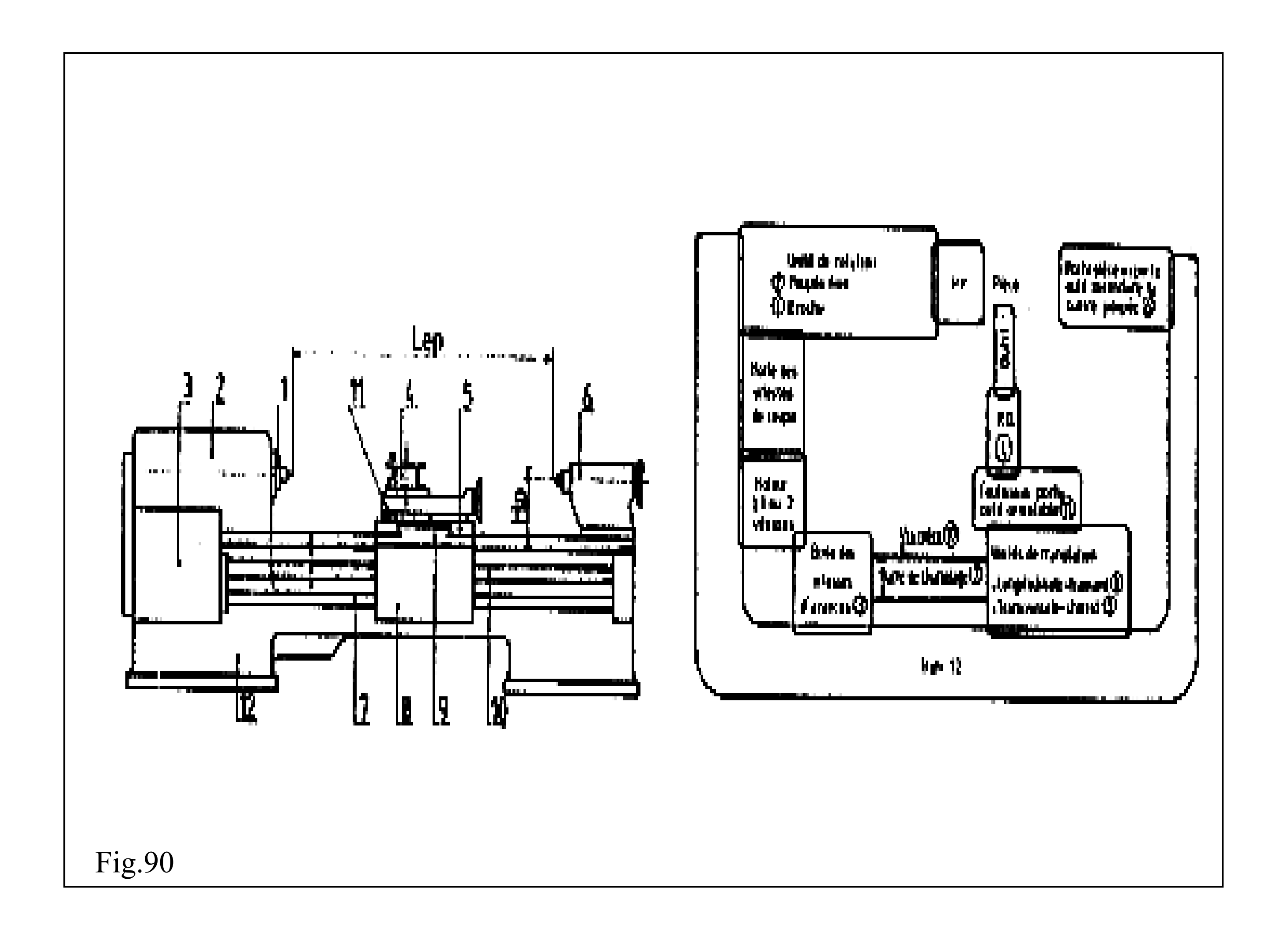


Fig.90

Principales caractéristiques

- Longueur entre points selon les modèles entre 0,5 à 10 m. Hauteur des points 160 à 500 mm caractérise le 0 maximal des pièces usinables sur le tour.•Puissance du moteur 1 à 25 KW.

14.2 Les outils

Les outils les plus courants sont normalisés. Les parties actives sont des mises rapportées en: **Acier rapide** (NF E 66-361 à 373); **En carbure,** on distingue:

- Les plaquettes brasées, les outils les plus courants sont normalisés (NF E 66-331 à 343).
- Les plaquettes amovibles à jeter, les principales formes et dimensions sont normalisées.

En cermet, les plaquettes sont brasées ou à jeter;

En céramique, les plaquettes sont brasées ou à jeter; complément: Th. 1 et II, C

14.2.1.Outils en acier rapide pour travaux d'extérieur

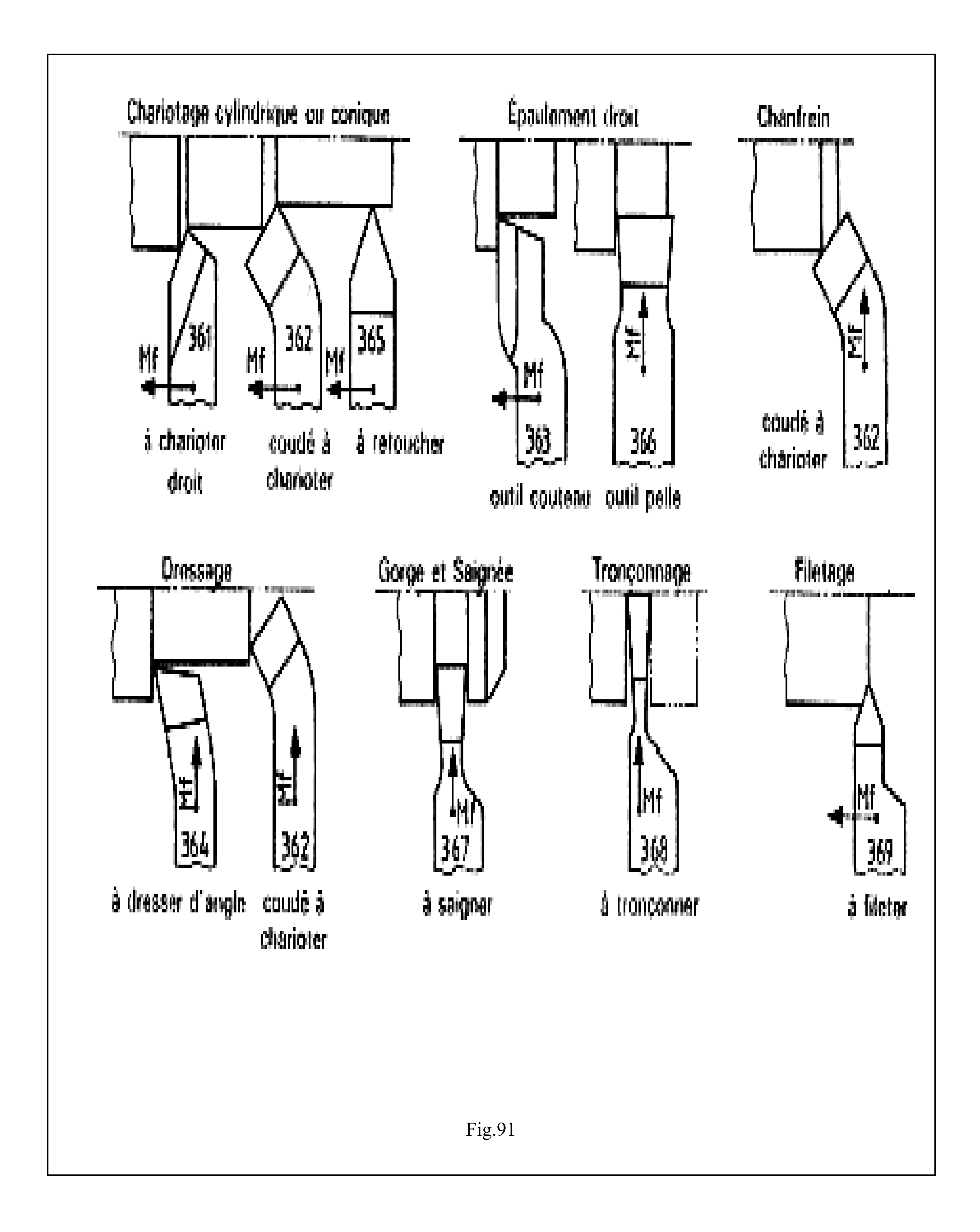


Fig.91

14.2.2 Outils en acier rapide pour travaux d'intérieur

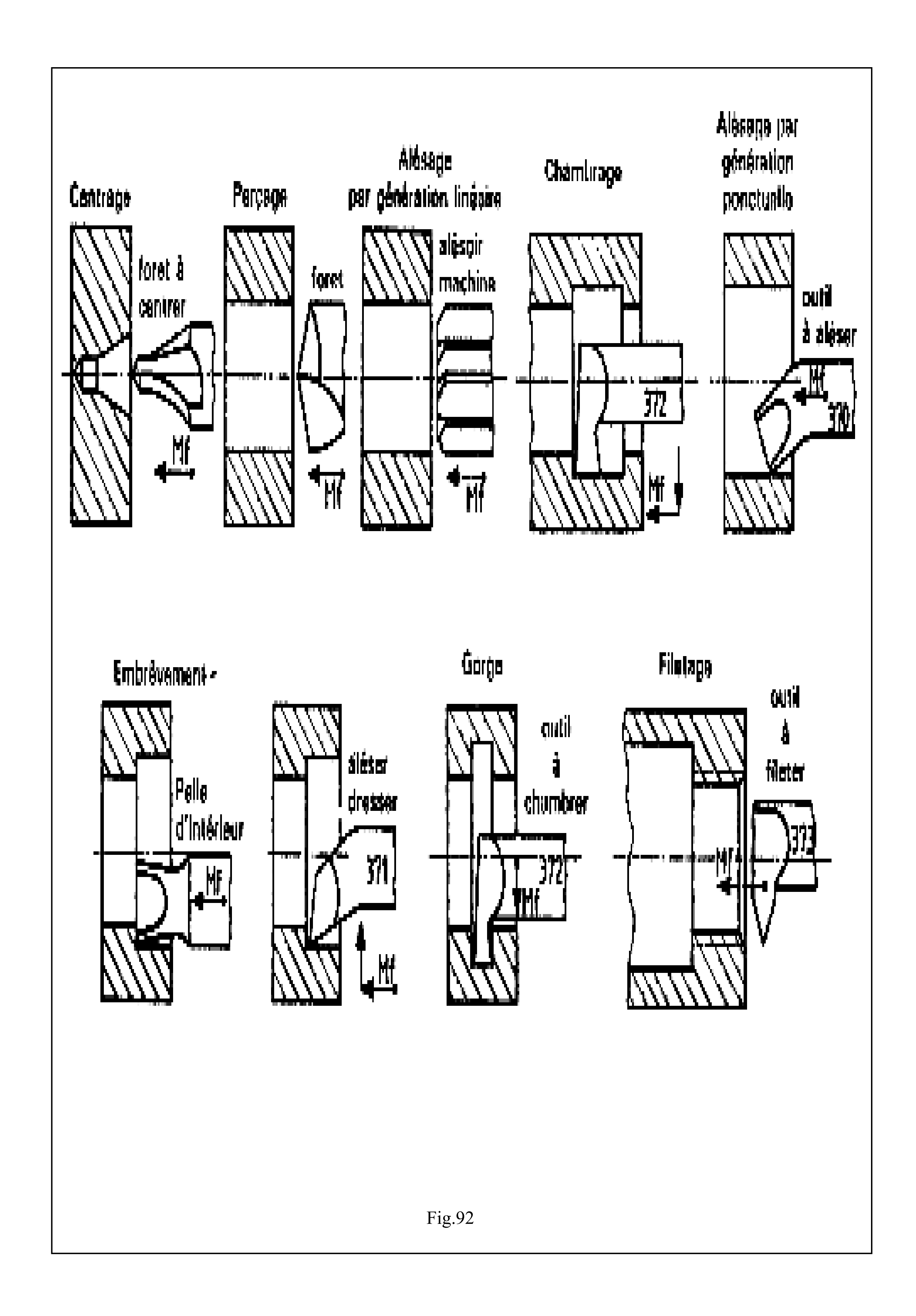
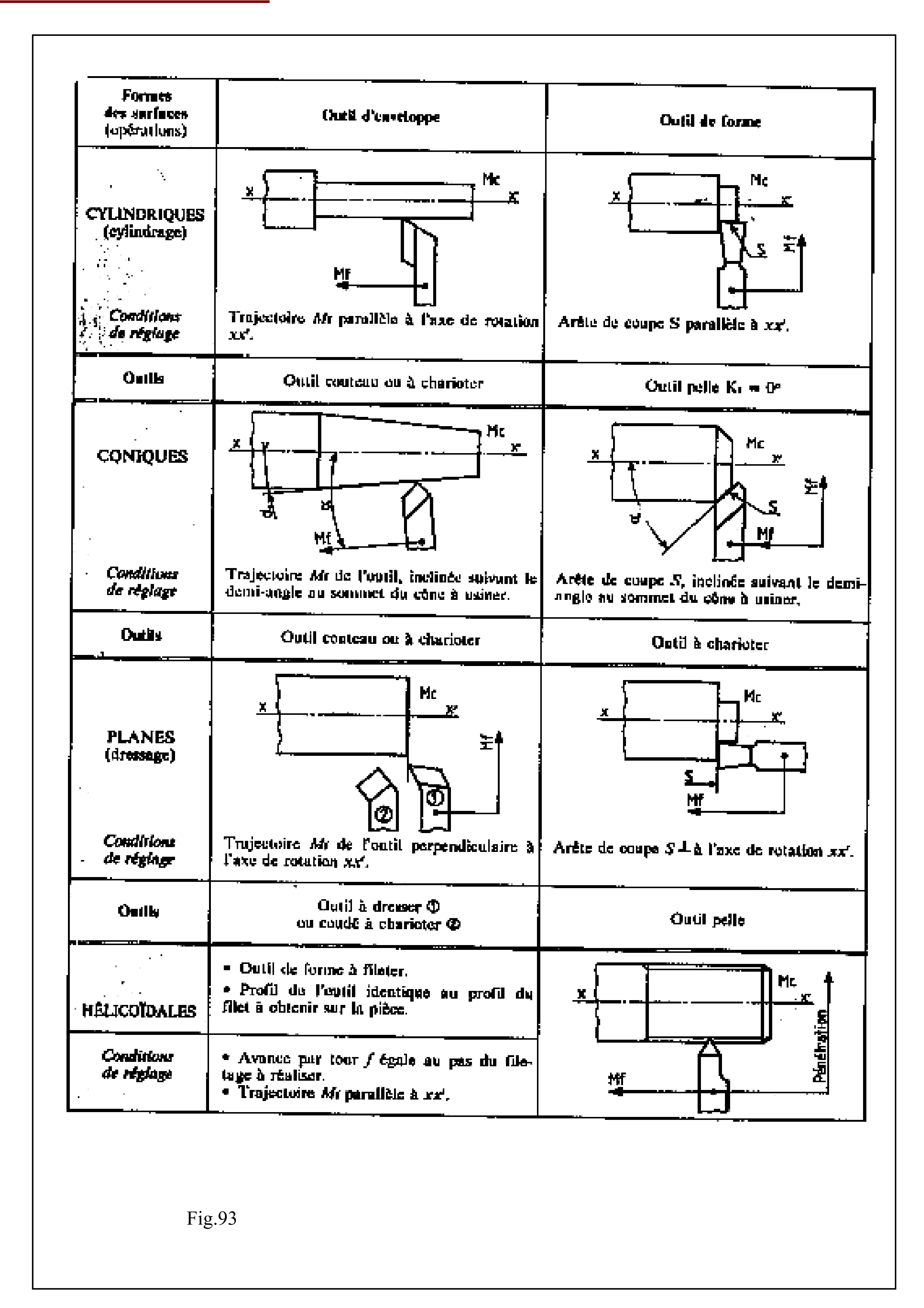


Fig.92

14.3.Génération des surfaces sur ie tour

14.3.1 Formes extérieures



Formes des surfaces (opérations)	Outil d'enveloppe	Outil de forme
CYLINDRIQUES (cylindrage) — *Conditions de réglage*	Trajectoire *Mf* parallèle à l'axe de rotation *xx'*.	Arête de coupe S parallèle à *xx'*.
Outils	Outil couteau ou à charioter	Outil pelle $K_r = 0°$
CONIQUES — *Conditions de réglage*	Trajectoire *Mf* de l'outil, inclinée suivant le demi-angle au sommet du cône à usiner.	Arête de coupe *S*, inclinée suivant le demi-angle au sommet du cône à usiner.
Outils	Outil couteau ou à charioter	Outil à charioter
PLANES (dressage) — *Conditions de réglage*	Trajectoire *Mf* de l'outil perpendiculaire à l'axe de rotation *xx'*.	Arête de coupe *S* ⊥ à l'axe de rotation *xx'*.
Outils	Outil à dresser ① ou coudé à charioter ②	Outil pelle
HÉLICOÏDALES	• Outil de forme à fileter. • Profil de l'outil identique au profil du filet à obtenir sur la pièce.	
Conditions de réglage	• Avance par tour *f* égale au pas du filetage à réaliser. • Trajectoire *Mf* parallèle à *xx'*.	

Fig.93

14.3.2.Formes intérieures

14.3.2.1.Le centrage

Les centres sont exécutés avec un foret à centrer (flg.94). La dimension du centre dépend de la masse de la pièce et du nombre d'utilisation de cet élément de reprise.

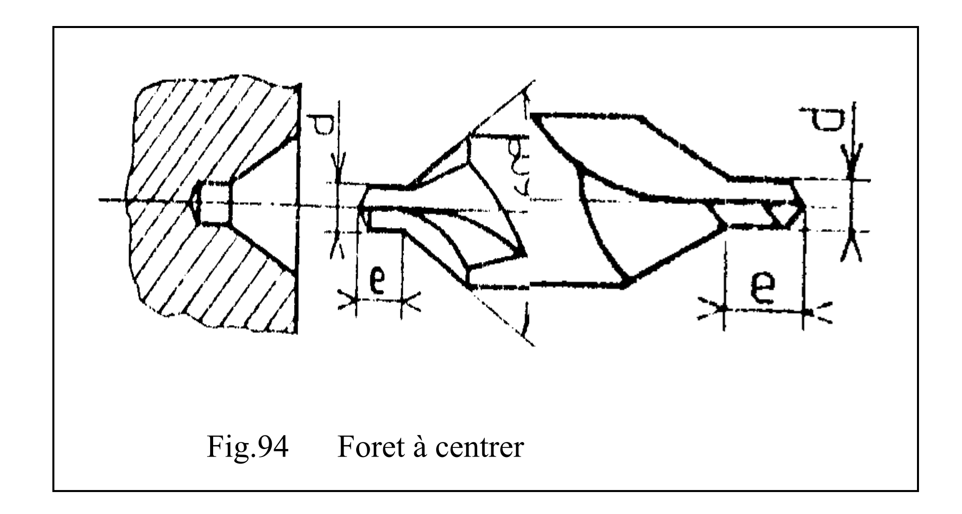


Fig.94 Foret à centrer

Deux cas d'utilisation des trous de centre

1. Les trous du centre servent à la mise en position "entre pointes" de la pièce. Le diamètre des trous de centre est choisi en fonction du 0 de la pièce (fig.95).

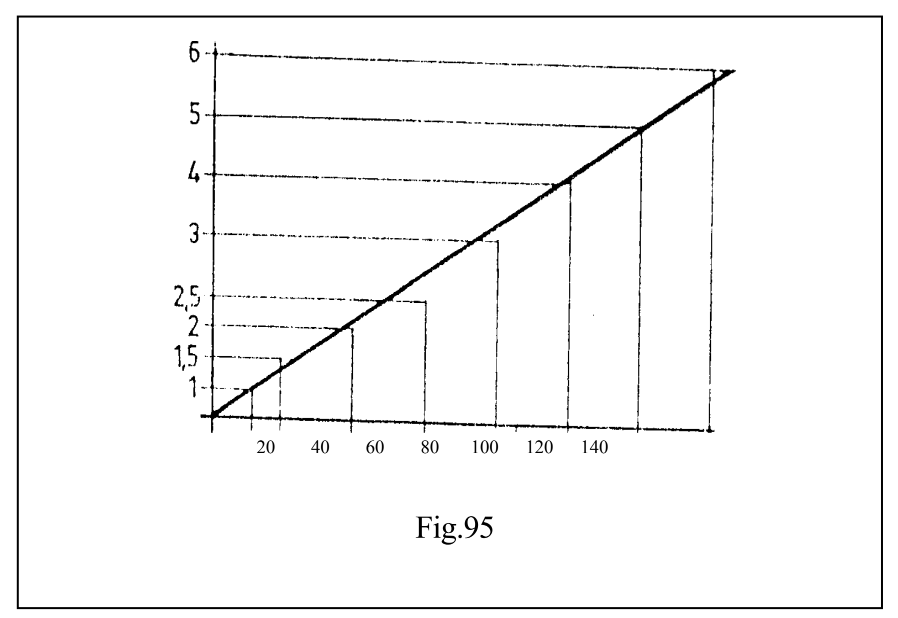


Fig.95

Les trous de centre deviennent les surfaces de références de mise en position de la pièce, ils doivent être correctement alignés (fig.96).

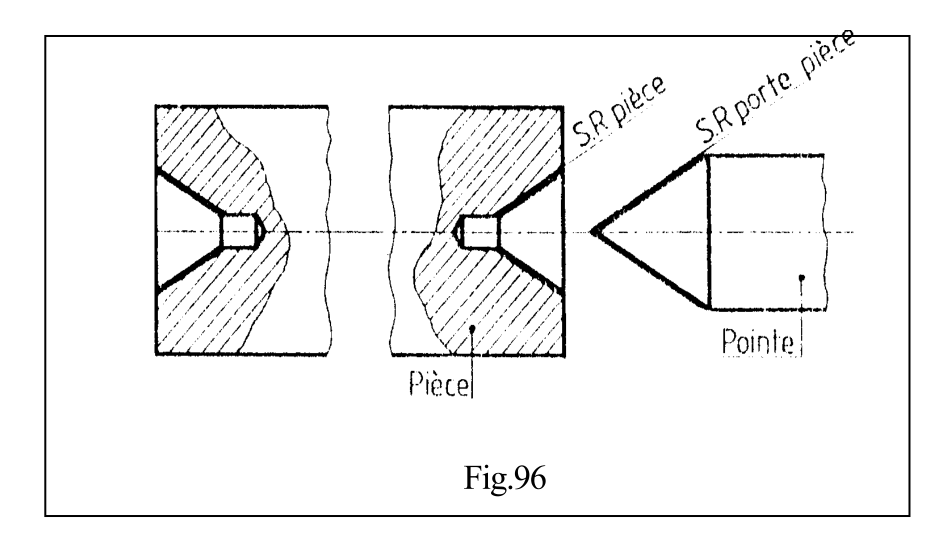


Fig.96

2. Les trous du centre servent au guidage au mouvement de l'attaque du forêt (fig.97)

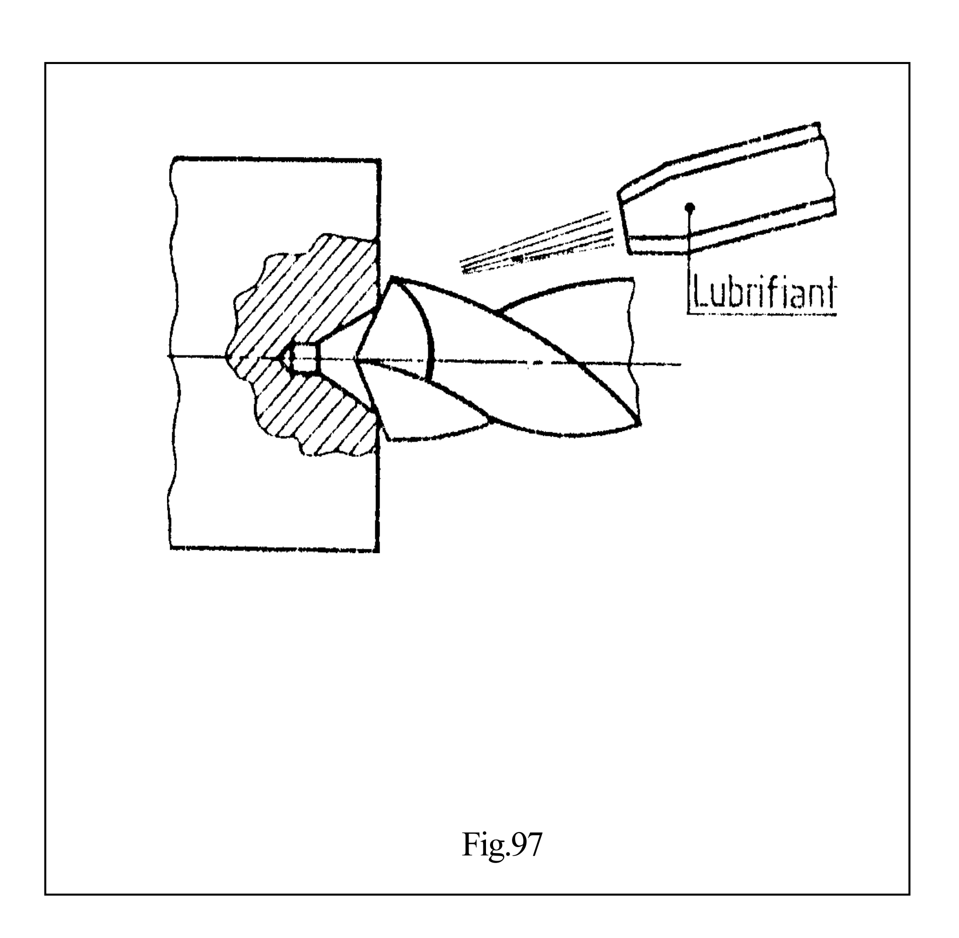
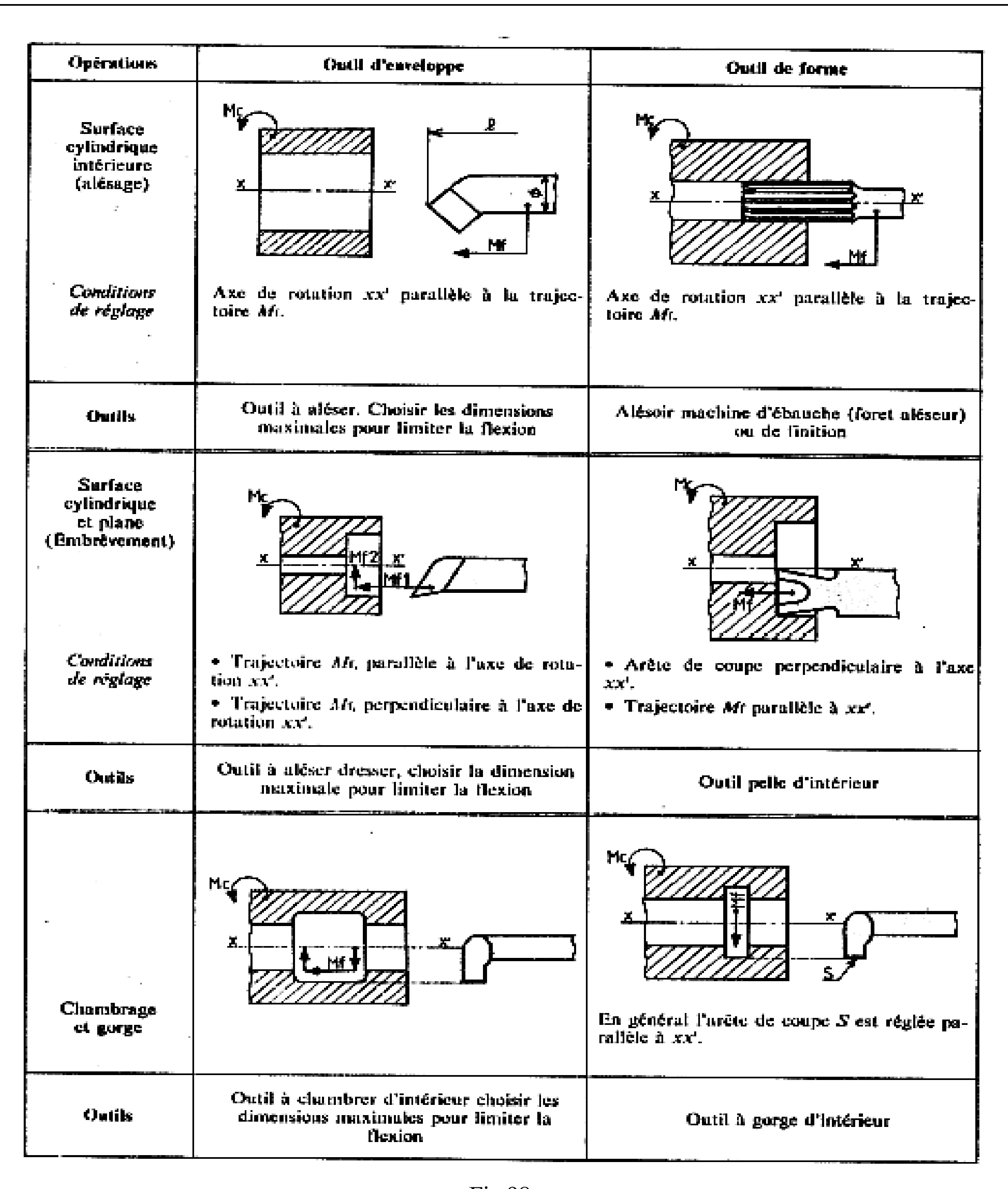


Fig.97

14.3.2.2 Le perçage

Le foret est monté dans la contre-pointe. Le mouvement d'avance est manuel, la buse d'arrosage doit être orienter pour conduire le plus rapidement possible le lubrifiant vers la partie active de l'outil. Malgré tout le refroidissement de la partie active, l'évacuation des copeaux s’effectue difficilement. Des opérations de "débourrage" (recul du foret et évacuation des copeaux) sont nécessaires lors des perçages profonds

14.3.2.3. Les opérations d'alésage, dressage, chambrage



Opérations	Outil d'enveloppe	Outil de forme
Surface cylindrique intérieure (alésage)		
Conditions de réglage	Axe de rotation *xx'* parallèle à la trajectoire *Mf*.	Axe de rotation *xx'* parallèle à la trajectoire *Mf*.
Outils	Outil à aléser. Choisir les dimensions maximales pour limiter la flexion	Alésoir machine d'ébauche (foret aléseur) ou de finition
Surface cylindrique et plane (Embrèvement)		
Conditions de réglage	• Trajectoire *Mf*1 parallèle à l'axe de rotation *xx'*. • Trajectoire *Mf*2 perpendiculaire à l'axe de rotation *xx'*.	• Arête de coupe perpendiculaire à l'axe *xx'*. • Trajectoire *Mf* parallèle à *xx'*.
Outils	Outil à aléser dresser, choisir la dimension maximale pour limiter la flexion	Outil pelle d'intérieur
Chambrage et gorge		En général l'arête de coupe *S* est réglée parallèle à *xx'*.
Outils	Outil à chambrer d'intérieur choisir les dimensions maximales pour limiter la flexion	Outil à gorge d'intérieur

Fig.98

15. Forets et alésoirs

La génération des surfaces par perçage, alésage taraudage, lamage nécessite deux mouvements: 1/Une rotation autour de l'axe de l'outil appelée mouvement de coupe. 2/Une translation parallèle à l'axe de l'outil appelée mouvement d'avance. Les deux mouvements sont suivants les machines utilisées, communiqués à la pièce ou à l'outil.

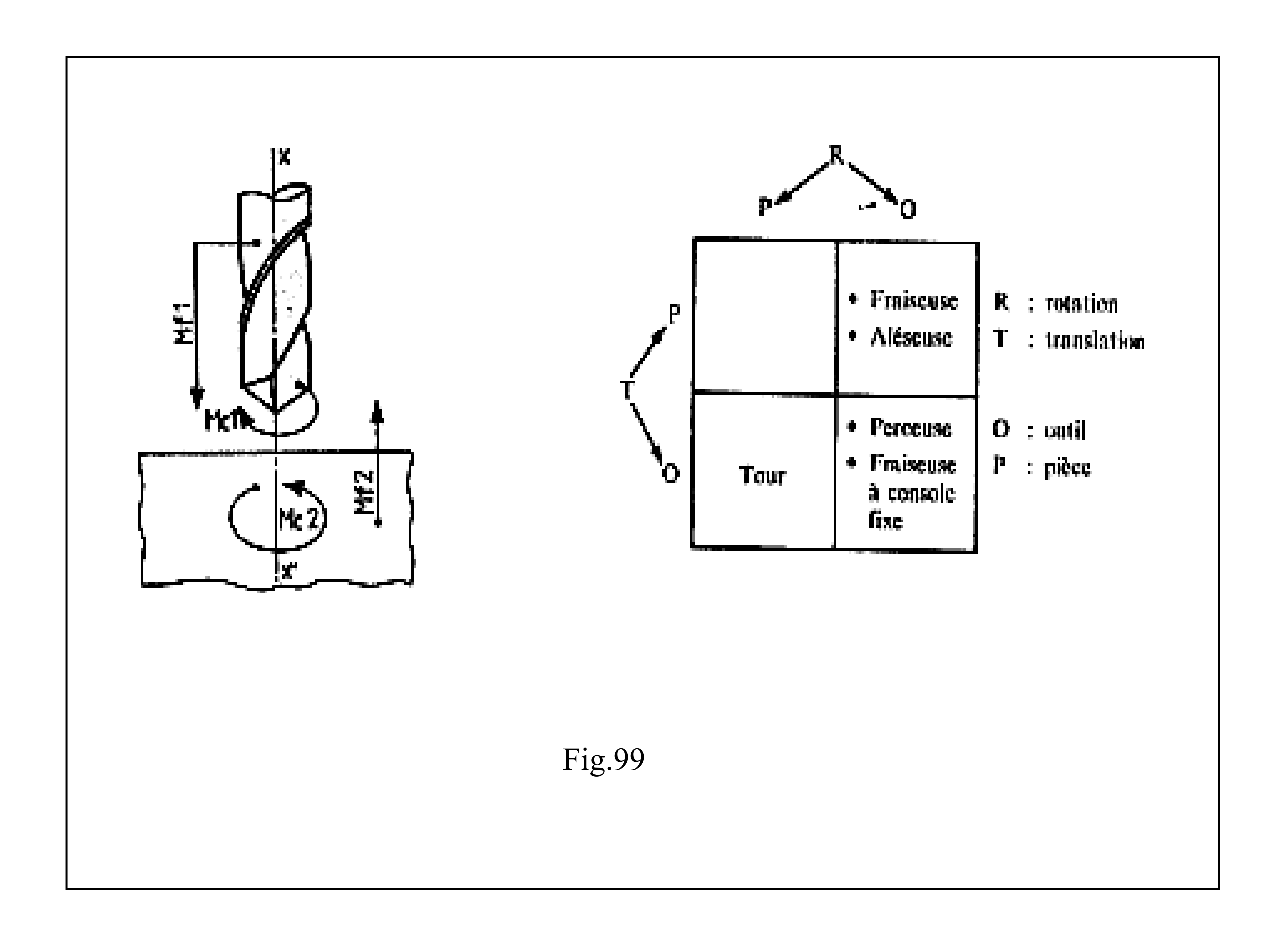


Fig.99

L'outil est choisi en fonction des caractéristiques dimensionnelles et géométriques de la forme intérieure à générer, les mêmes outils sont indifféremment utilisés sur une fraiseuse, une perceuse ou un tour. La perceuse est la machine la mieux adaptée aux travaux de perçage.

15.1 Les perceuses

Les perceuses se différencient essentiellement par leur capacité de perçage et le type de production (série ou unitaire) pour lesquels elles sont conçues. Dans tous les cas, l'outil est animé du mouvement circulaire de coupe et en général du mouvement d'avance

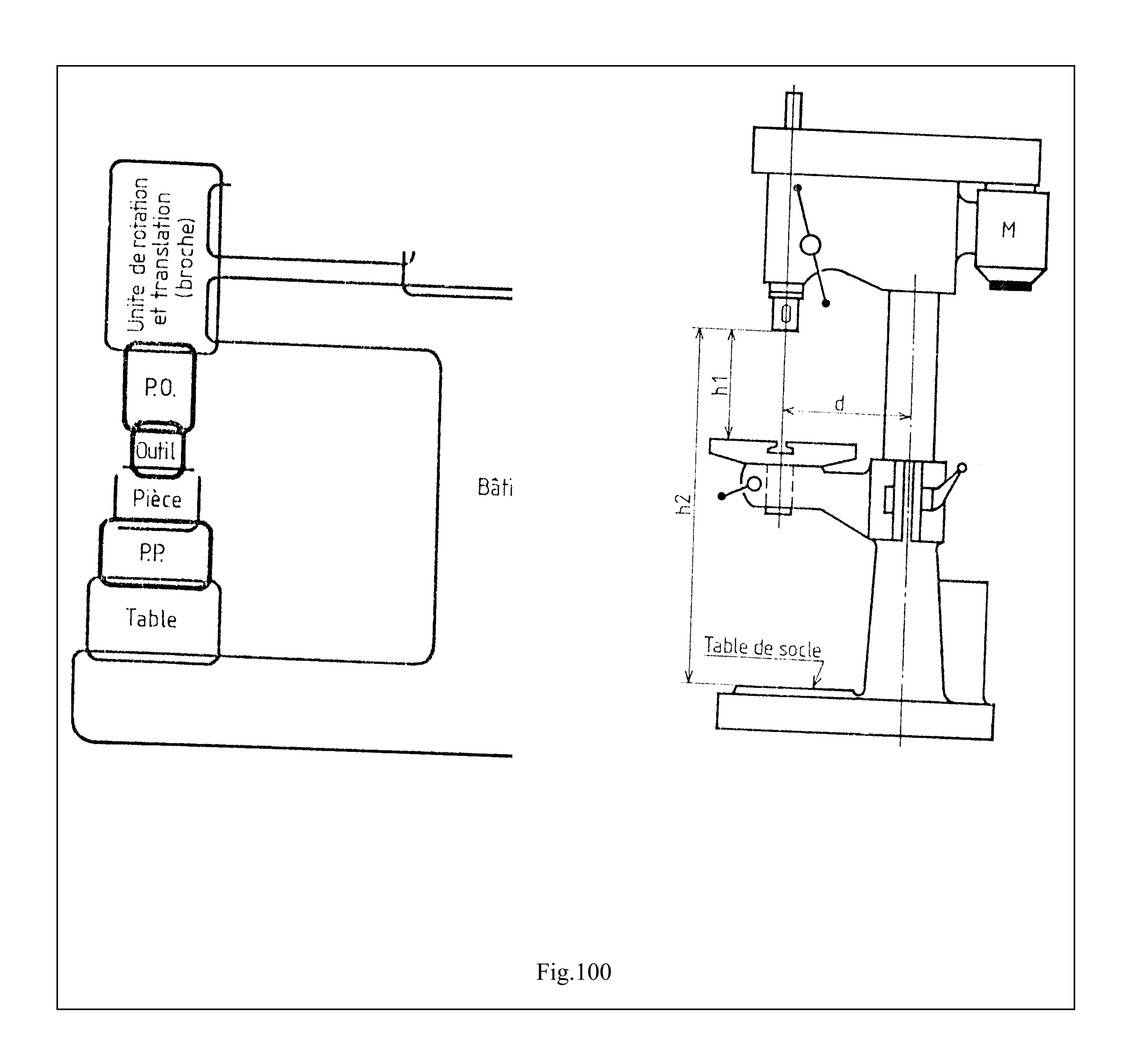
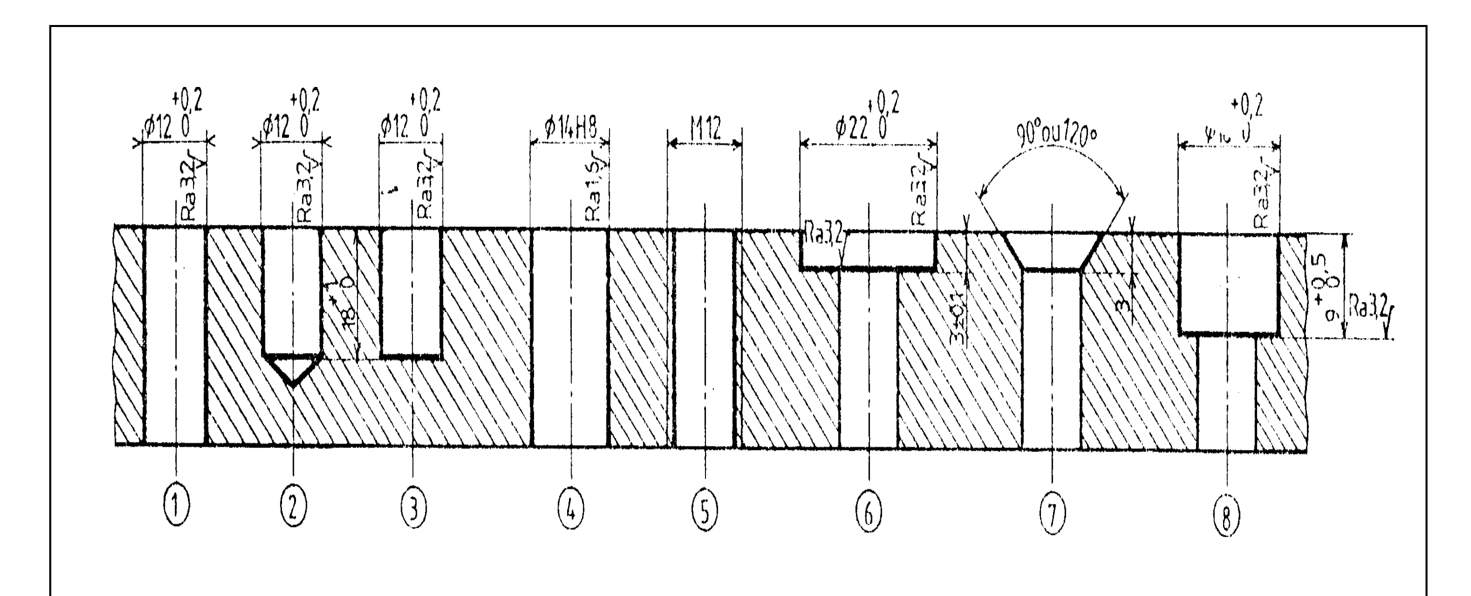


Fig.100

Perceuses sensitives à colonnes La descente de l'outil est manuelle, elle est communiquée à la broche porte-outil par un levier sensitif, la capacité de perçage est limitée à 15mm.Pour les perceuses à montant, elles possèdent un dispositif d'avance automatique, leur capacité de perçage peut atteindre 70mm.

15.2. Génération des formes percées.

Principales formes percées



Toutes les surfaces sont de révolution : • 1, 2, 3, 4, 6, 8 : surfaces cylindriques ; • 5 : surface hclicoïdale ; • 7 : surface conique.

Fig..101

15.3. Forets

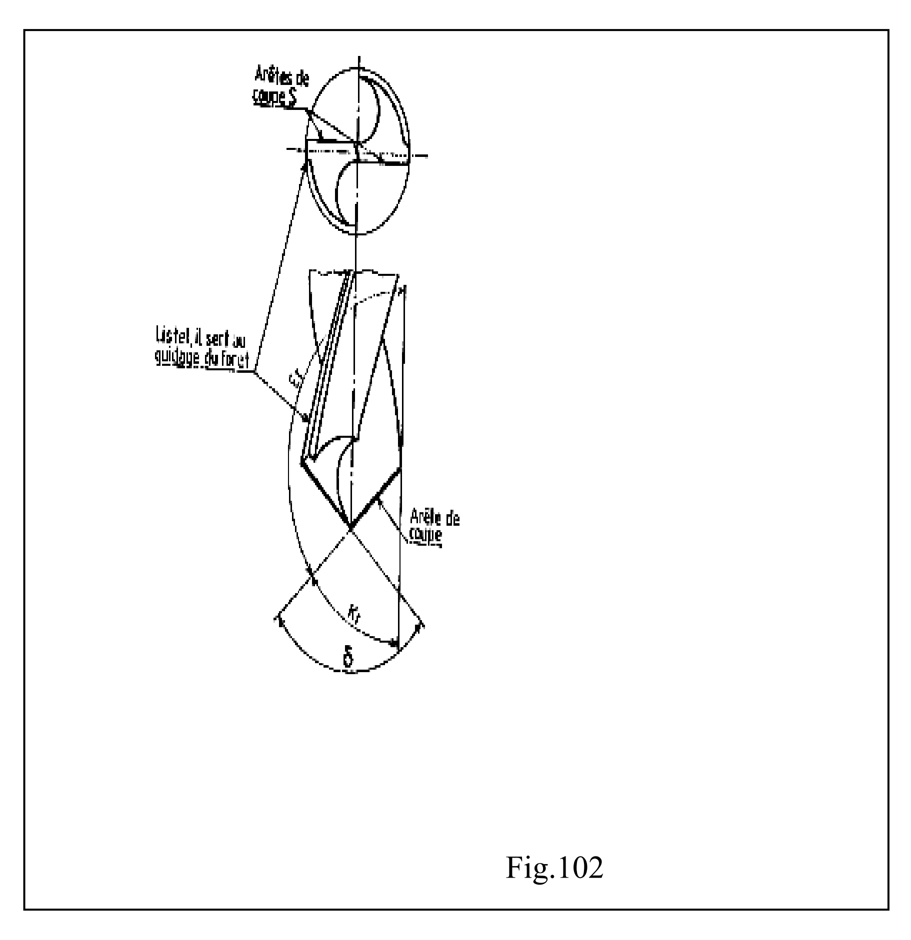


Fig.102

Foret hélicoïdal, la queue est cylindrique pour les 0 < 13 et au cône Morse pour les 0 > 13 (caractéristiques de la partie active).

- **L'angle de pointe** s_r et le pas de l'hélice sont choisis en fonction du matériau à usiner. Pour l'usinage des aciers Rm < 900 N/mm^2, l'angle au sommet Ô varie entre 116 et 118°.

Matériaux: Les forets en aciers rapides nuances 6-5-2 et 2-8-2 sont couramment utilisés pour usiner les matériaux jusqu'à R^ = 1000 N/mm$^{2;}$ - Les forets en carbures permettent d'usiner des aciers jusqu'à R_m = 1800 N/mm^2

- **Usinage du trou à fond plat, deux solutions.**

1. perçage à une profondeur $h_}$ = h- 0/2 avec un foret afiûté normalement et finition du trou avec un foret dont l'angle au sommet est ô = 180°, (angle de pointe e_r = 90°) (fig.).

2.Le perçage avec une fraise 2 lèvres est possibles si la profondeur du trou h est < 20.

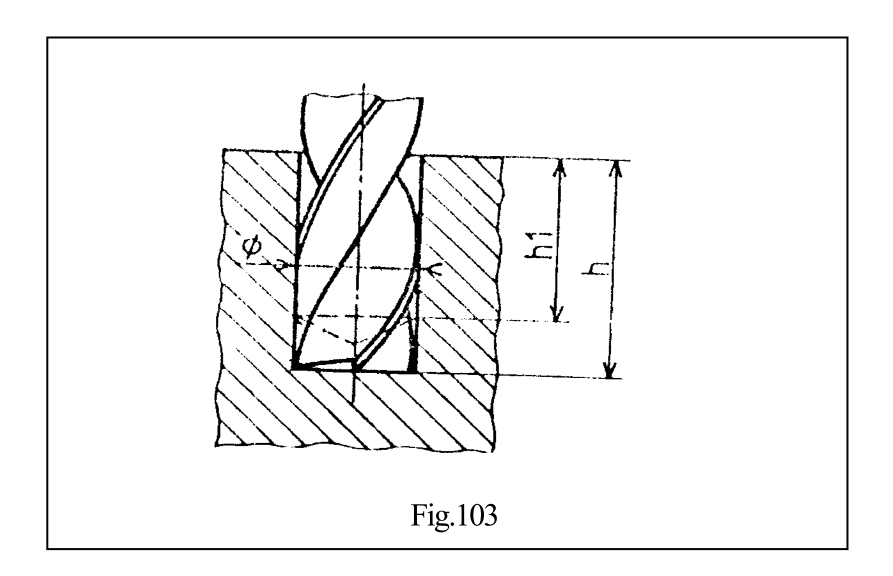


Fig.103

La vitesse de coupe et l'avance sont choisies en fonction des matériaux à usiner. La valeur moyenne de l'avance en mm par tour varie entre 0,040 pour les petits diamètres et 0,010 pour les gros diamètres de forets. Un trou de précision H9, H10, Hll et de rugosité Ra = 3.2 + 6.4 peut s'obtenir facilement par perçage.

Il existe quatre séries de longueur de forets:

- série courte et extra - courte : les outils sont moins sensibles au flambage;
- série normale : ce sont les plus utilisés;
- série longue : pour le perçage des profonds.

A partir d'une profondeur h > 40, le trou peut être considéré comme profond. Les problèmes d'exécution deviennent de plus en plus difficiles à résoudre au fur et à mesure que la profondeur croit.

Les précautions à prendre sont fonctions des difficultés rencontrées.

1- Le foret série longue est sensible au flambage en début d'opération.

Remède : guider l'outil ou amorcer le trou avec un foret ordinaire.

2- La déformation de l'outil par torsion augmente les risques de cassures.

Remède : diminuer la valeur de l'avance par tour.

3- L'évacuation des copeaux est difficile.

Remède: débourrage fréquent.

4- Le refroidissement de la partie active est difficile.

Remède: amener le liquide sous pression par des trous (foret à trou d'huile) ou refroidir le foret au moment du débourrage.

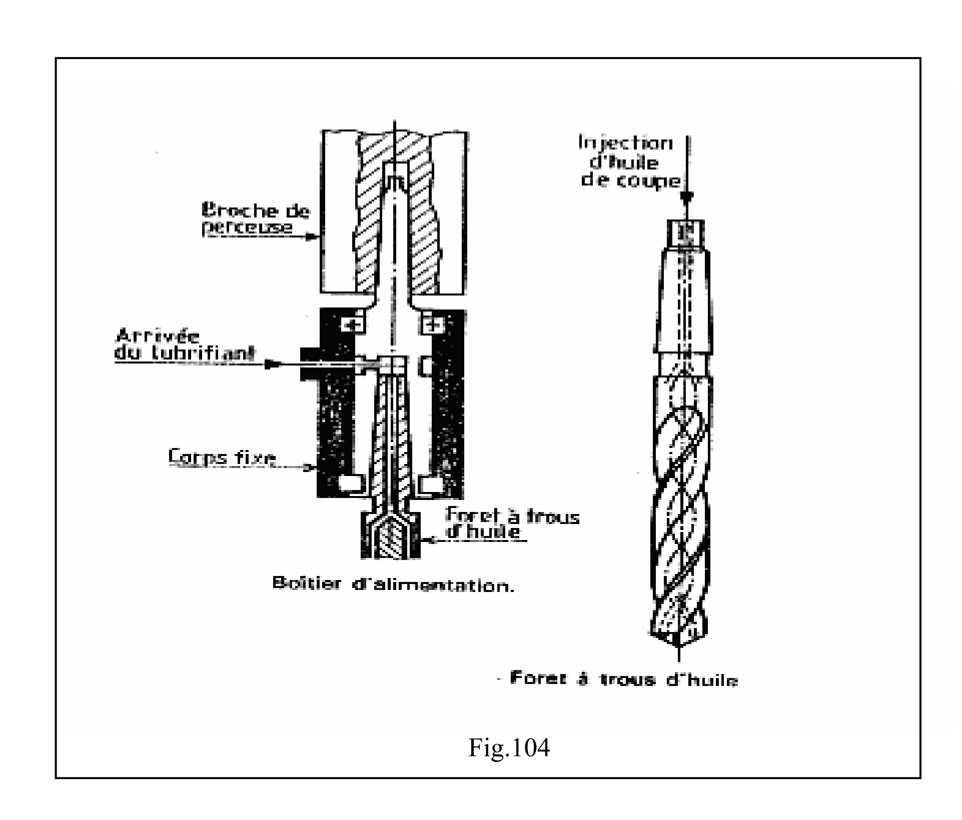


Fig.104

15.4. Usinage des surfaces

La précision dimensionnelle et de rugosité du trou conduisent à réaliser une opération de finition par alésage.

15.4.1. Outils d'enveloppe

Ils sont dérivés des outils d'alésage. Ils sont montés généralement sur des barres d'alésage ou sur des têtes à aléser. Leurs conditions de coupe sont celles des outils de tour. Ils sont utilisés essentiellement sur fraiseuses ou aléseuses.

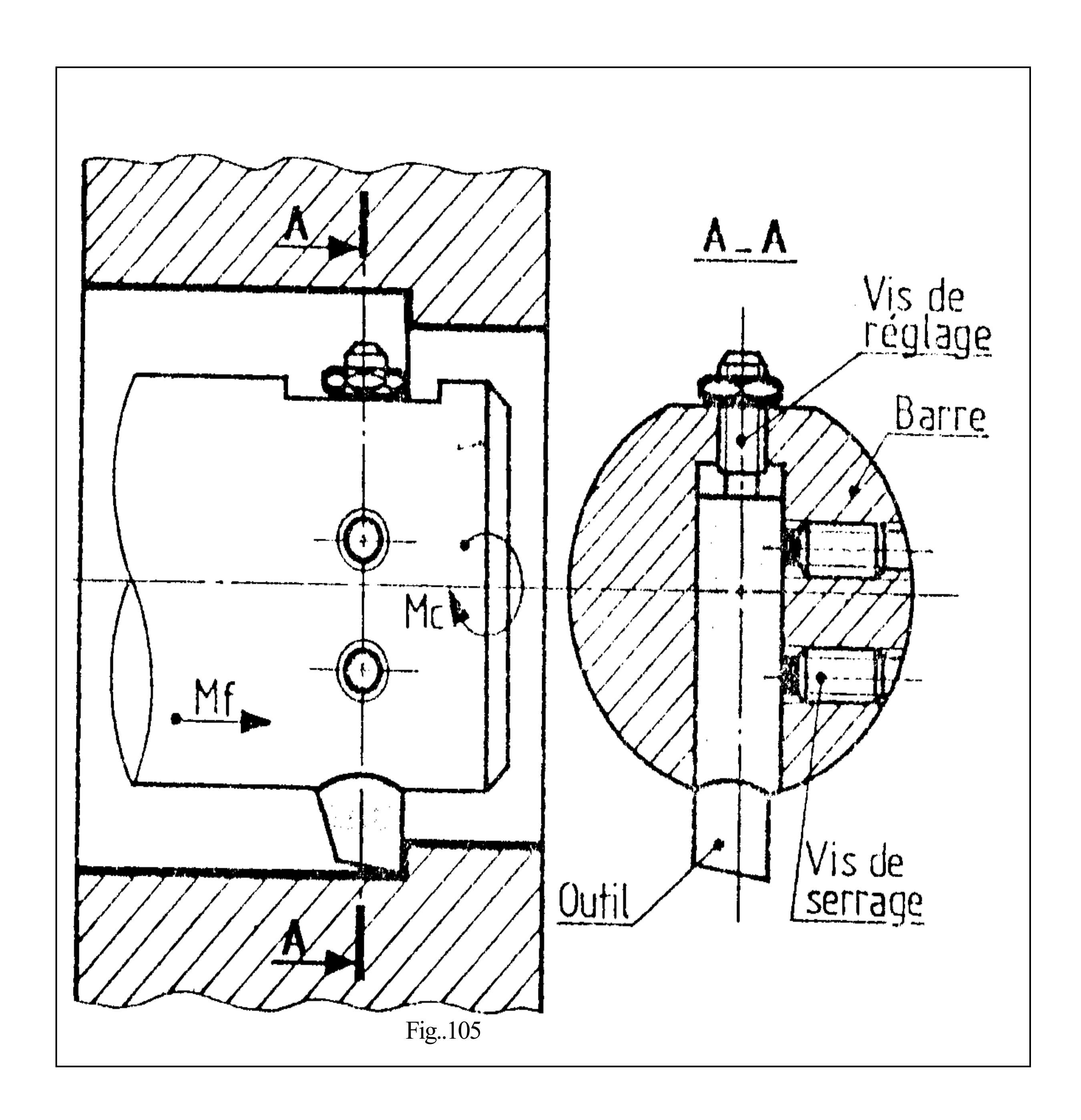


Fig..105

15.4.2. Outils de forme

Les alésoirs sont des outils de forme qui comportent plusieurs arêtes de coupe. Us sont réalisés en acier rapide ou en carbures. Ils sont monoblocs ou manchon. On trouve des alésoirs spécialisés dans les travaux: d'ébauche et de finition.

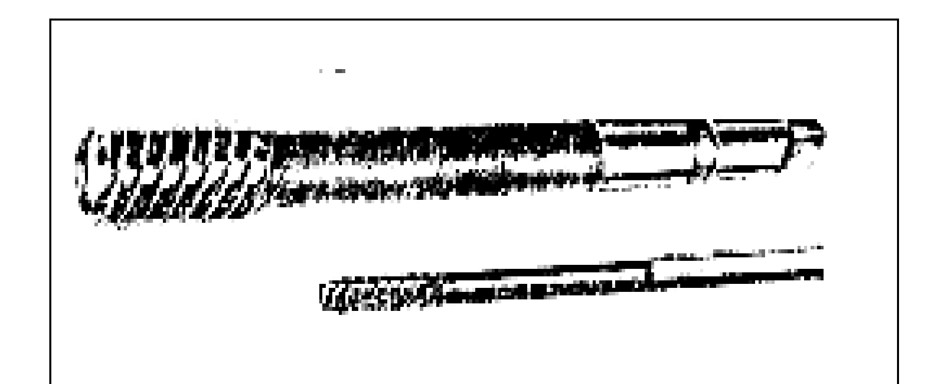


Fig.106 Alésoirs de finition à coupe descendante

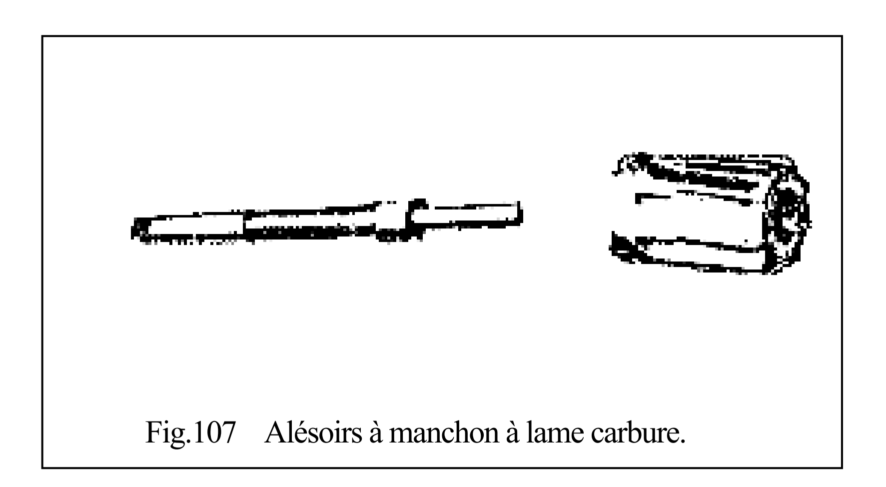


Fig.107 Alésoirs à manchon à lame carbure.

1. l'alésoir d'ébauche: Il travail en bout à la manière d'un foret, K_r « 60°. Il est utilisé pour agrandir des trous bruts de fonderie ou percés sans précision de position.

2. L'alésoir de finition : Il travail plutôt sur la périphérie, (Kr « 6 à 8).

Il donne à l'alésage sa dimension (H 7ou H 8) et sa rugosité finale (Ra 0,8 à 1,6).

L'alésoir de finition suit l'axe engendré par l'outil précédent. Il garantit la forme et la dimension, mais conserve la position.

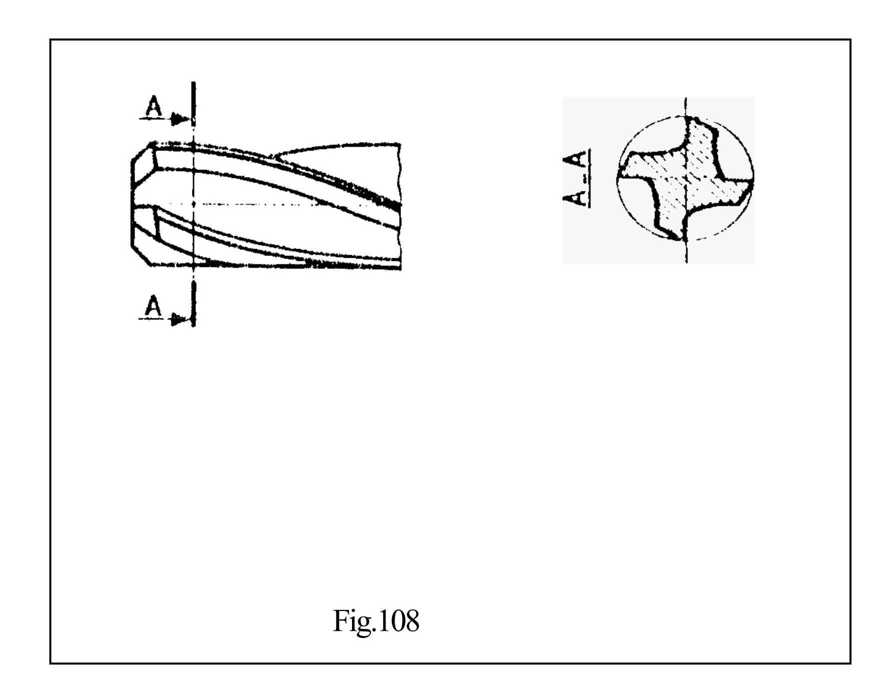


Fig.108

2. Le foret aléseur. Il comporte trois ou quatre arêtes de coupe et travail de la même façon que le foret de perçage. La partie centrale du bout du foret ne coupe pas. Il est utilisé pour réaliser: - La demi - finition des trous déjà percés si IT < indice de qualité 8 ;

- La finition des trous déjà percés si 8 < IT < 11.

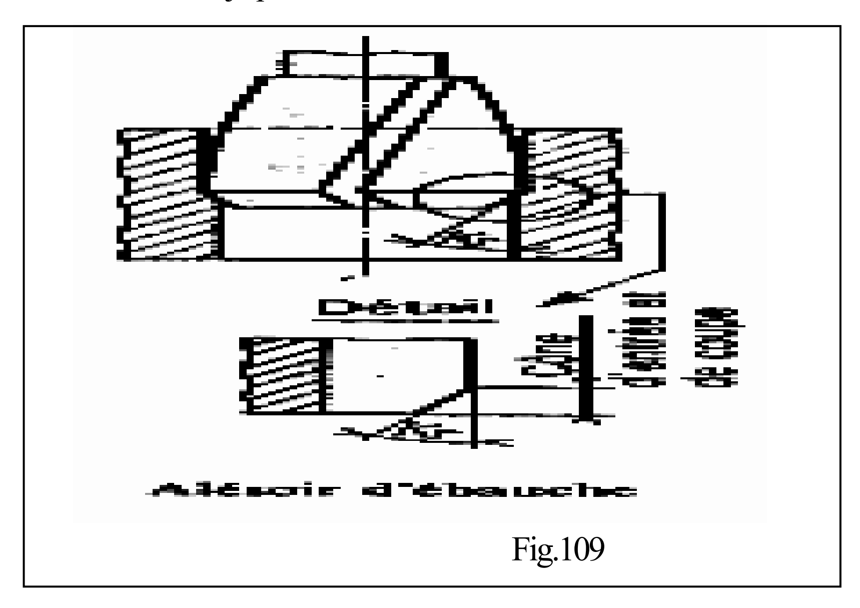


Fig.109

Nota: Cet outil est plus intéressant à utiliser que l'alésoir d'ébauche si la tolérance du trou est supérieure à la qualité 8 (8,9,10) car dans ce cas ou supprime l'alésage de finition.

Règle: Pour obtenir un alésage à la qualité souhaitée, il est indispensable que l'alésoir de finition enlève sur le rayon une surépaisseur de matière e. Le diamètre d'ébauche devient:

$$\varnothing_E = \varnothing - 2e$$

Ø d'alésage fini	Surépaisseur au rayon e
Ø < 5	0,1
5 < Ø < 10	0,1 à 0,15
10 < Ø < 20	0,15 à 0,25
20 < Ø < 30	0,25 à 0,30
30 < Ø < 40	0,30 à 0,35
40 < Ø < 50	0,35 à 0,40

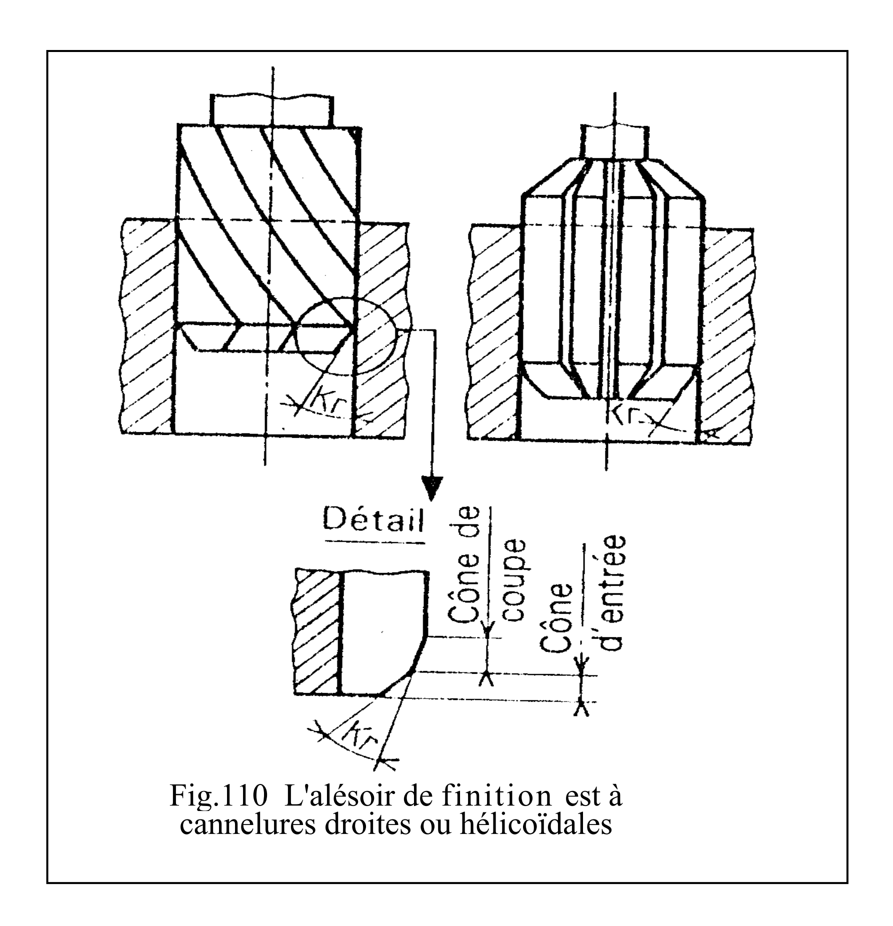


Fig.110 L'alésoir de finition est à cannelures droites ou hélicoïdales

15.5. Usinage des lamages cylindriques et du fraisage conique

15.5.1. Outils Les fraises à lamer cylindriques ou coniques:

La partie active est amovible, le guidage de la fraise dans le perçage est assuré par un pilote .Elles ne sont pas conçues pour faire des lamages profonds. Elles peuvent travailler en poussant ou en tirant.

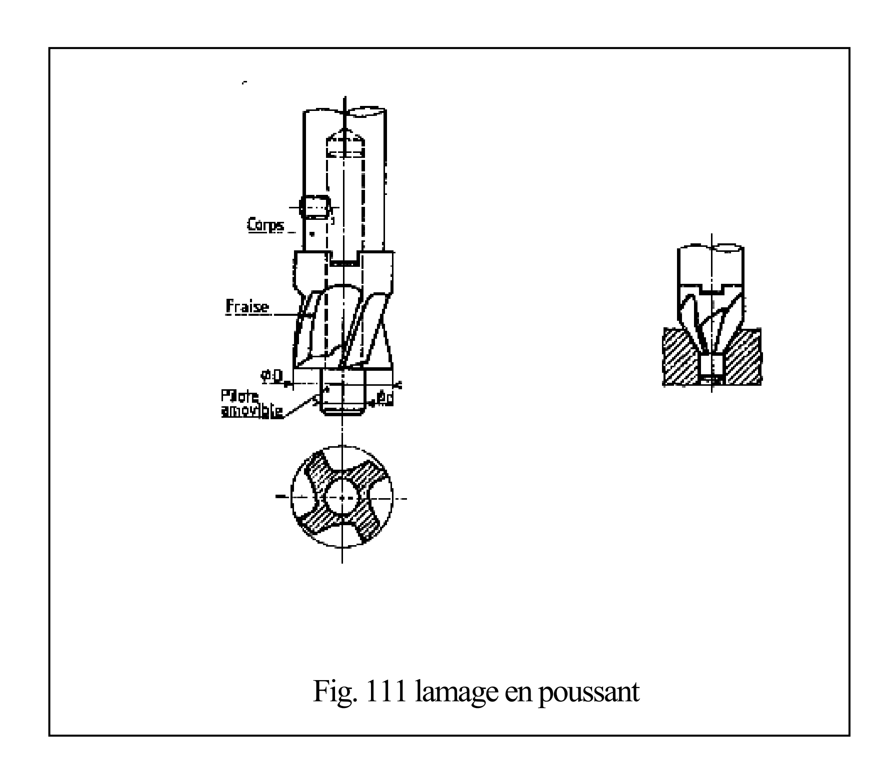


Fig. 111 lamage en poussant

Fig. 112 lamage en tirant, à chaque opération les fraises sont montées et fixées par un dispositif à serrage rapide.

Les fraises à lamer pour logements de vis cylindriques CHC elles sont monoblocs à queue cylindrique ou

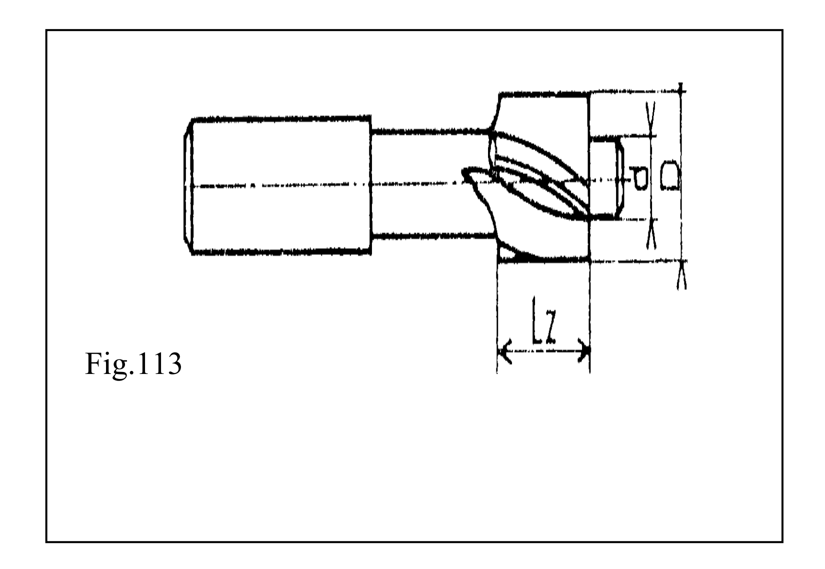


Fig.113

Les fraises coniques sans pilote

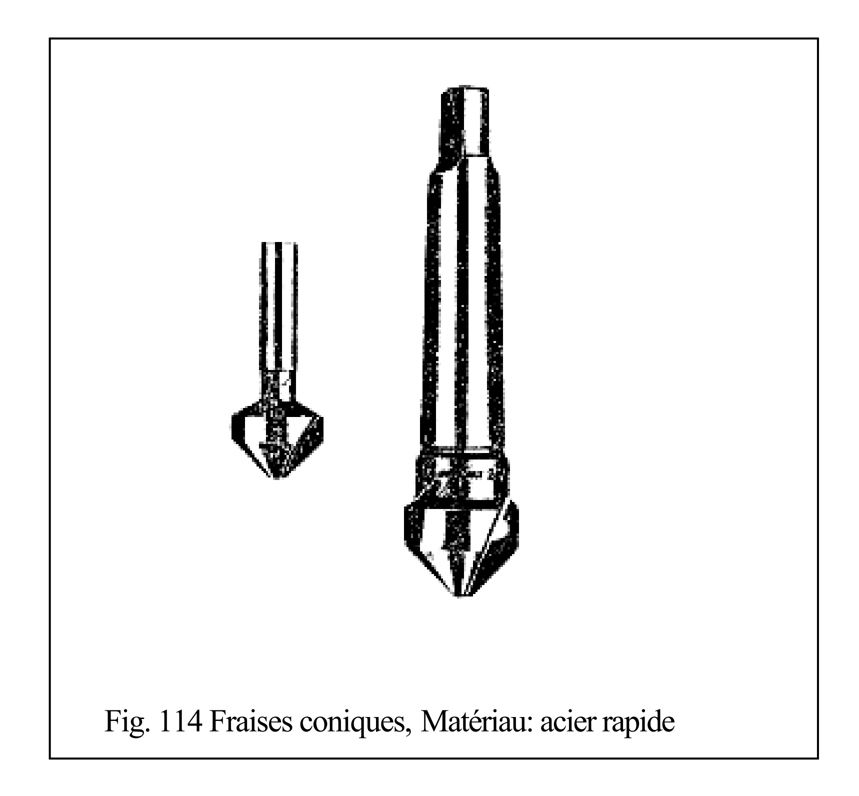


Fig. 114 Fraises coniques, Matériau: acier rapide

Règle: Le perçage doit toujours être exécuté avant le lamage

15.2.2 Conditions de travail des fraises à lamer

Vitesse de coupe en lamage

V en lamage = 1/2 V en perçage.

Exemple:

Si V en perçage = 30 m/min

V en lamage = 15 m/min

Avance par tour faible 0,05 à 0,1 mm, les outils sont fragiles et peu productifs.

Au cours de l'opération de lamage, des copeaux peuvent se loger entre le pilote et le trou servant au guidage, il s'en suit une légère détérioration de ce dernier.

Règle: On ne doit jamais utiliser un trou alésé pour guider une fraise à lamer. L'opération de lamage doit précéder l'opération d'alésage de finition.

16. Outils de fraisage (Fraises)

16.1. Les fraiseuses

Elles peuvent être classées en deux grandes catégories.

- **Les fraises de production:** destinées au travail en série, elles sont à broche verticale ou horizontale, les mouvements des chariots sont en général automatisés.

- **Les fraises universelles:** elles sont généralement utilisées dans les ateliers d'outillage. Elles tirent leur nom de la position verticale que peut prendre l'axe de la broche porte-outil et de la variété des surfaces qu'elles sont susceptibles d'usiner (planes, cylindriques, hélicoïdales, de forme...

Les fraises universelles peuvent travailler avec l'axe fraise horizontal, par fixation d'une tête universelle, l'axe broche peut prendre une position verticale ou oblique.

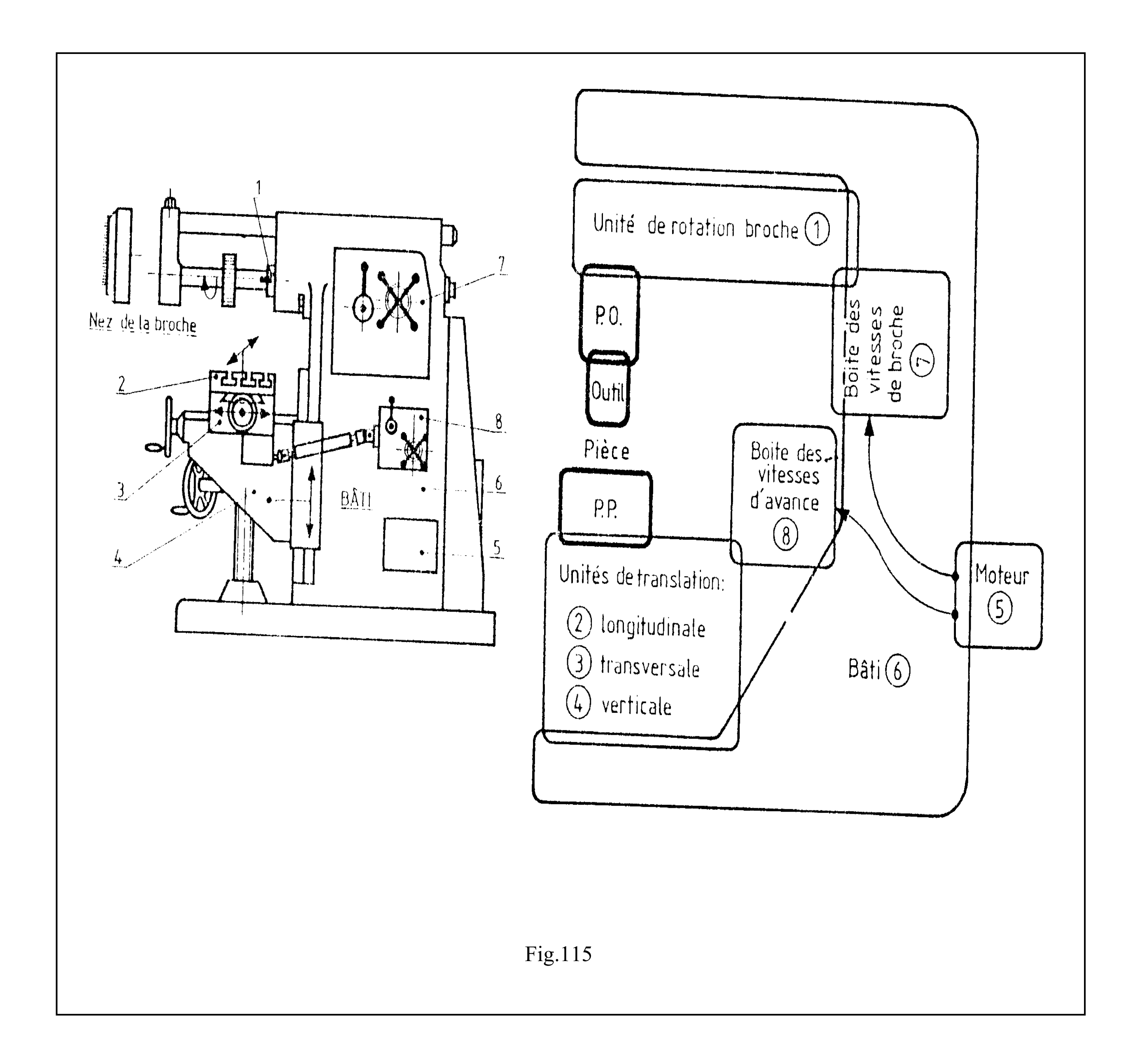


Fig.115

Tête universelle

Tête verticale

Tête oblique

Fig.116

16.2. Les fraises

Pour chaque type de fraise, chaque dent est un outil de coupe sur lequel on retrouve les angles caractéristiques définis pour l'outil pelle.

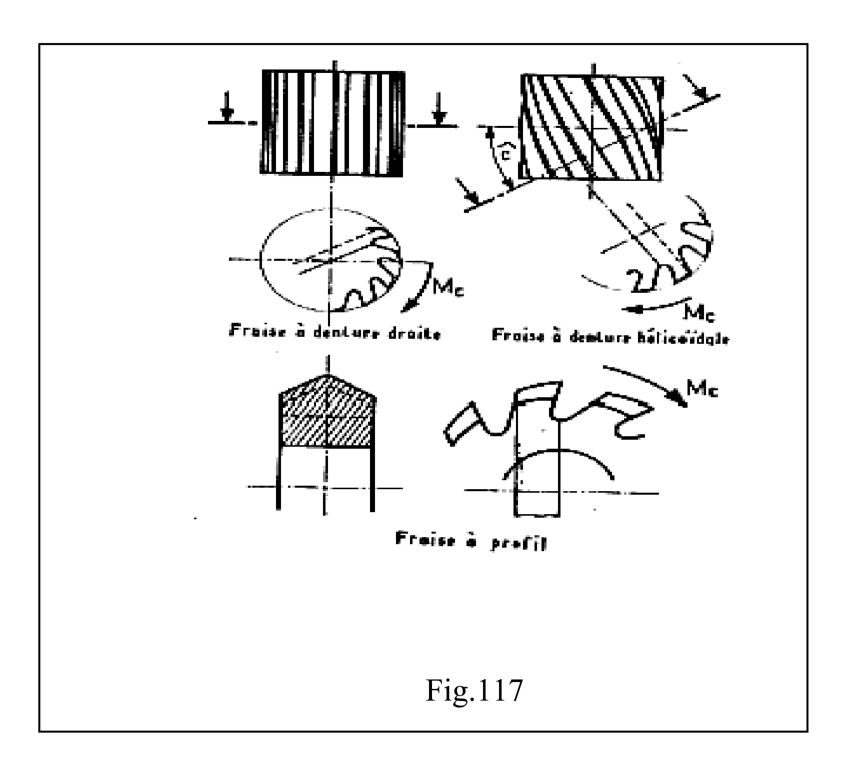


Fig.117

Choix des fraises en fonction de l'opération à effectuer.

DESIGNATION	UTILISATION
Fraise à lèvres à queue Fig. A	Rainures de clavetage
Fraise deux tailles bout à queue Fig.B	Surfaçage en bout excellent fini. Usinage mixte en bout et de côté jusqu'à Ø 40 mm
Fraise deux tailles en bout détachable Fig. C	Surfaçage excellent fini pour usinage mixte en bout et de côté
Fraise deux tailles à lames rapportées Fig. D	Surfaçage
Fraise deux tailles Fig. E	Accoupler pour mise à épaisseur
Fraise rouleau Fig. F	Surfaçage soit seule soit 2 fraises
Fraise une taille Fig. G	
Fraise trois tailles Fig. H	Défonçage et rainurage Rainures de précision
Fraise scie Fig. I	Exécution de rainures Tronçonnage
Fraises de forme à denture détalonnée ; Fraises disque Fig. J	Taillage d'engrenage dent par dent
Fraise vis mère Fig. K	Taillage des engrenages par génération
Fraise à fileter Fig. L	Fraisage filetage court extérieur et intérieur
Fraise WOODRUFF Fig. M	Rainures pour clavette disque
Fraise pour rainure en T Fig. N	Rainures en T
Fraise conique Fig. O	Rainures diverses Rainures à queue d'aronde
Fraise biconique Fig. P	Rainures diverses
Fraise spéciale Fig. Q	Profils divers
Fraise à arrondir Fig. R	Entrée de dents d'engrenages
Fraise spéciale Fig. S	Réparation moteurs à explosion

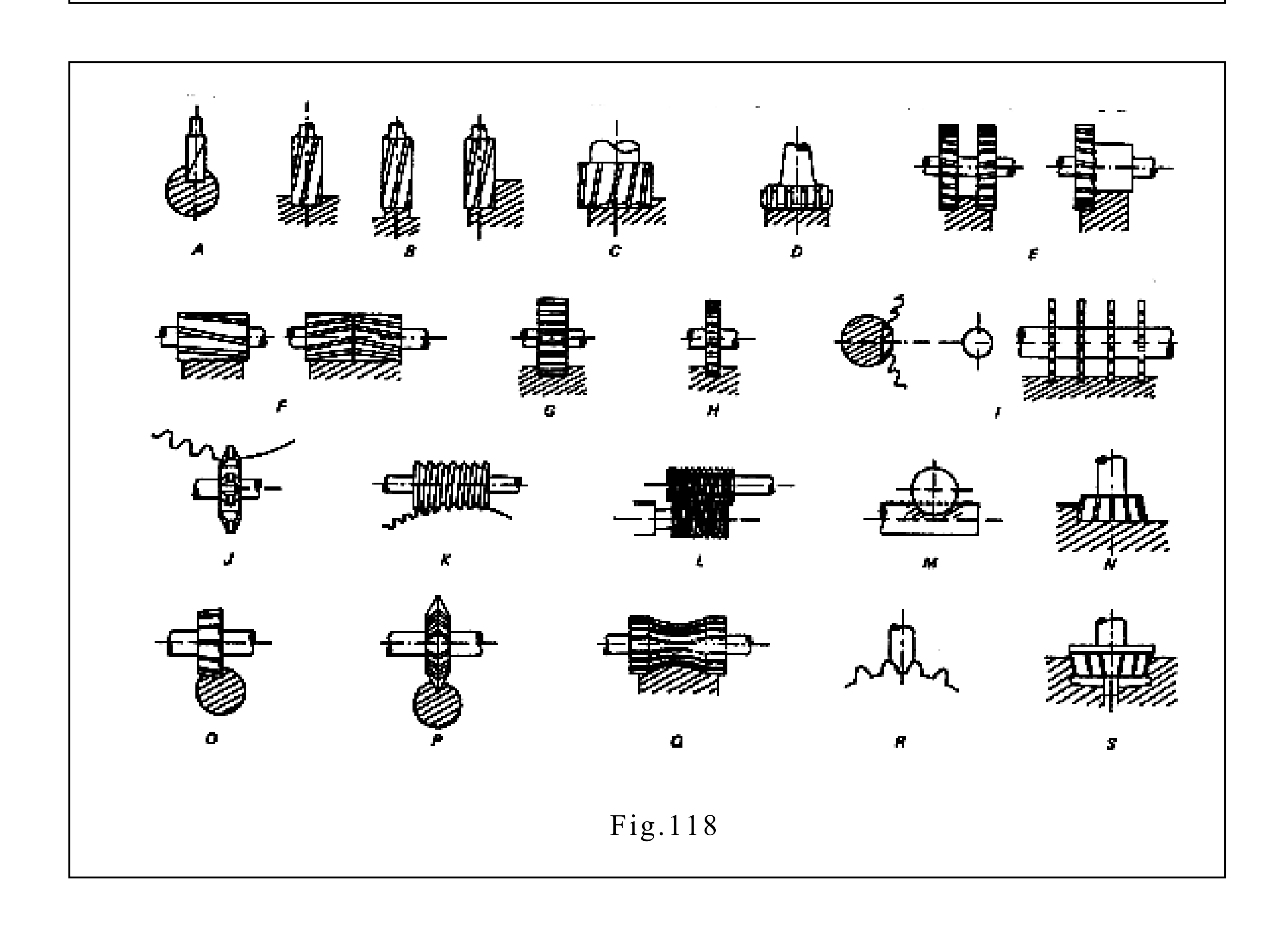


Fig.118

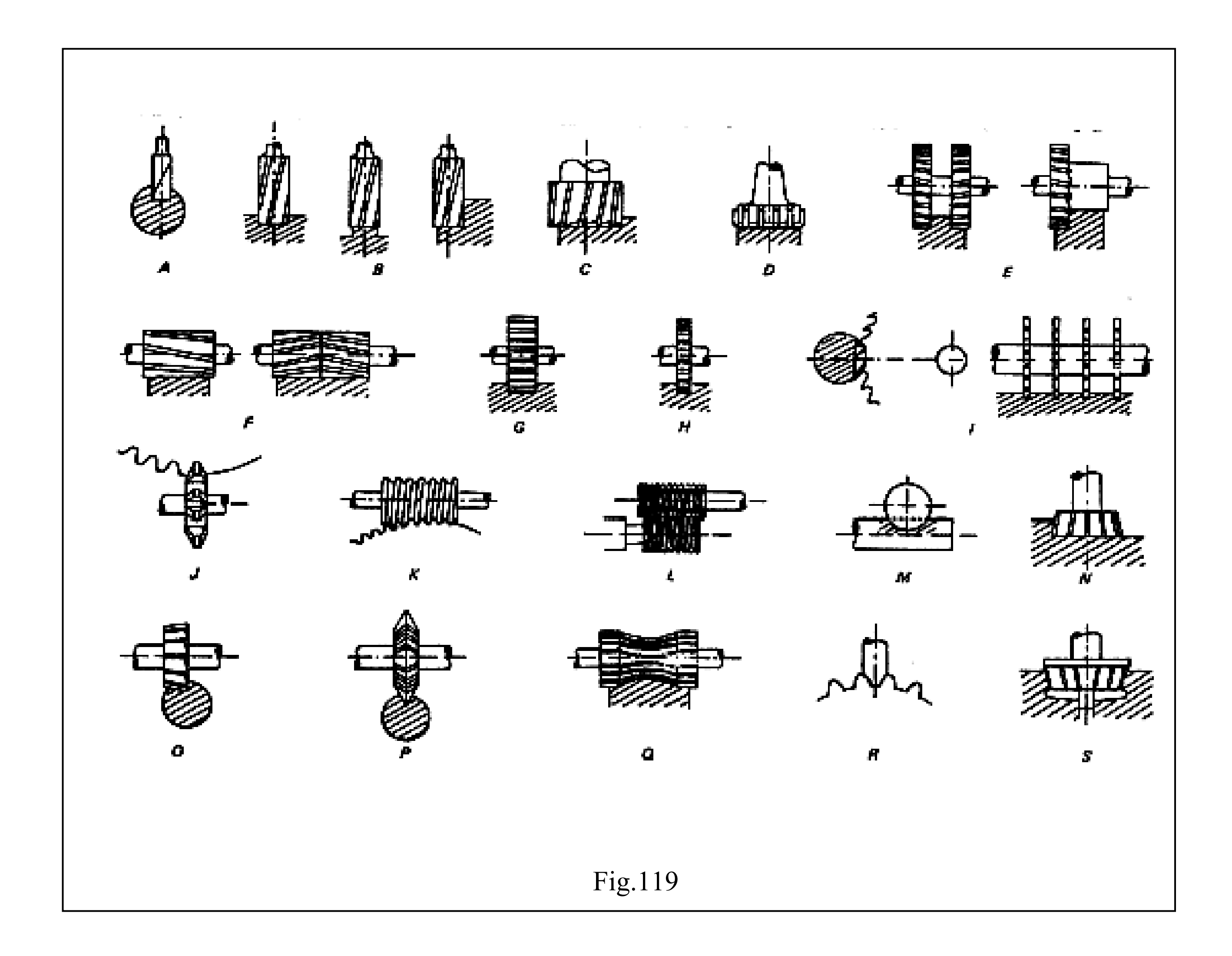


Fig.119

16.3.Génération des surfaces planes

Fraisage en "bout" (ou de face).

16.3.1.Outils

On distingue trois catégories:

Les fraises deux tailles; elles possèdent deux dentures diamètre maximum 80, elles sont monoblocs.

Les fraises cloches à surfacer; elles sont monoblocs 0 63 à 160.

Les fraises à surfacer à outils rapportés ou "fraise tourteau" ; elles sont utilisées pour l'usinage des grandes surface080à4

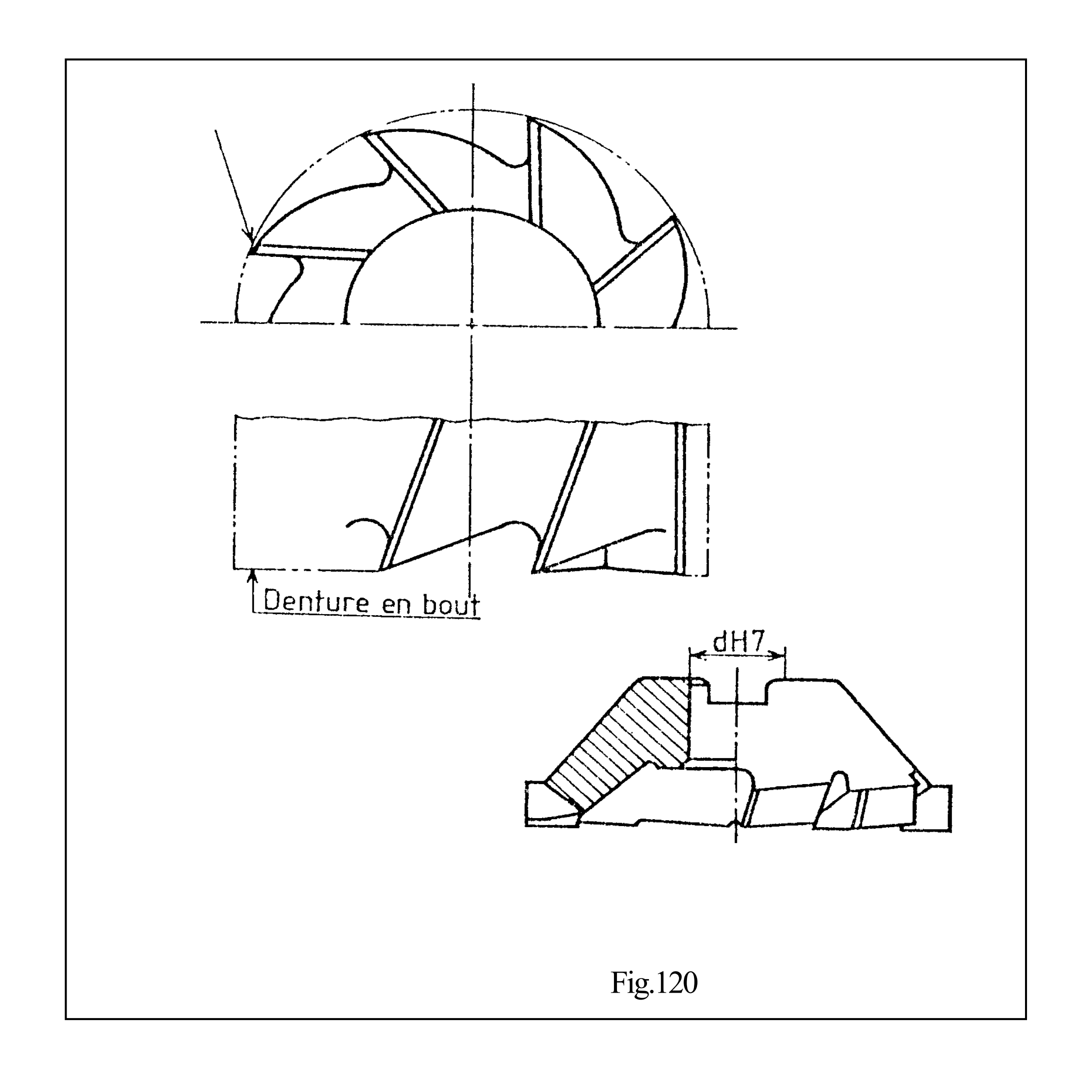


Fig.120

Matériaux constitutifs de l'outil

- Acier rapide pour les fraises deux tailles.

Les fraises tourteau sont souvent à pastilles carbures amovibles

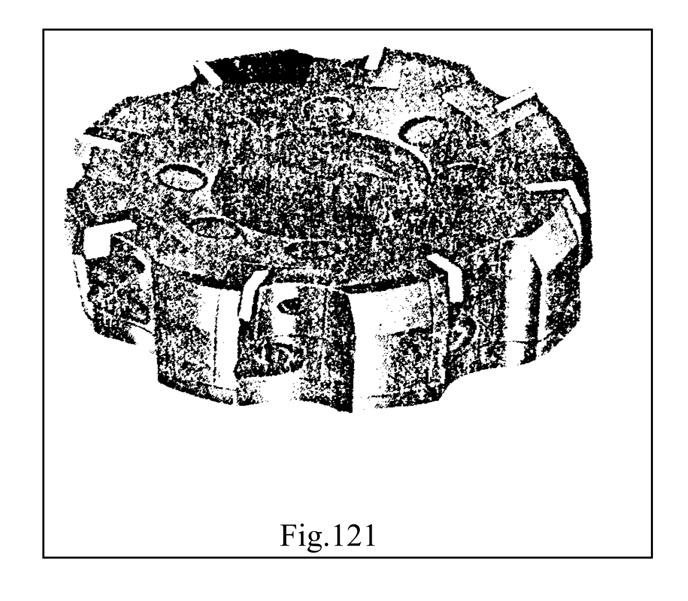


Fig.121

B. Mouvements de génération

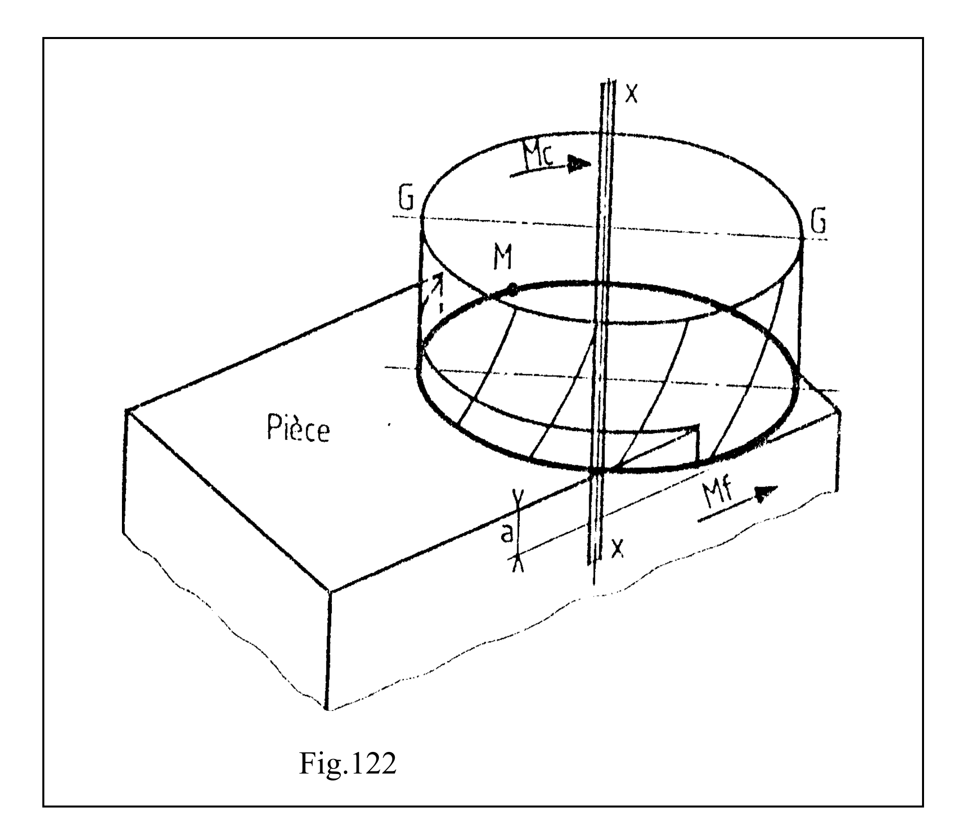


Fig.122

Un point M situé sur une dent en bout de la fraise décrit une génératrice circulaire. **Mouvement de coupe** Me communiqué à la fraise et le **Mouvement d'avance Mf** communiqué à la pièce.

Condition pour obtenir un plan correct:

Le plan du cercle trajectoire de M doit être parallèle à Mf c'est-à-dire que:

xx' (axe fraise) 1 M_f

Dans le cas contraire, la surface obtenue est creuse. Le plan obtenu est le résultat d'une génération ponctuelle.

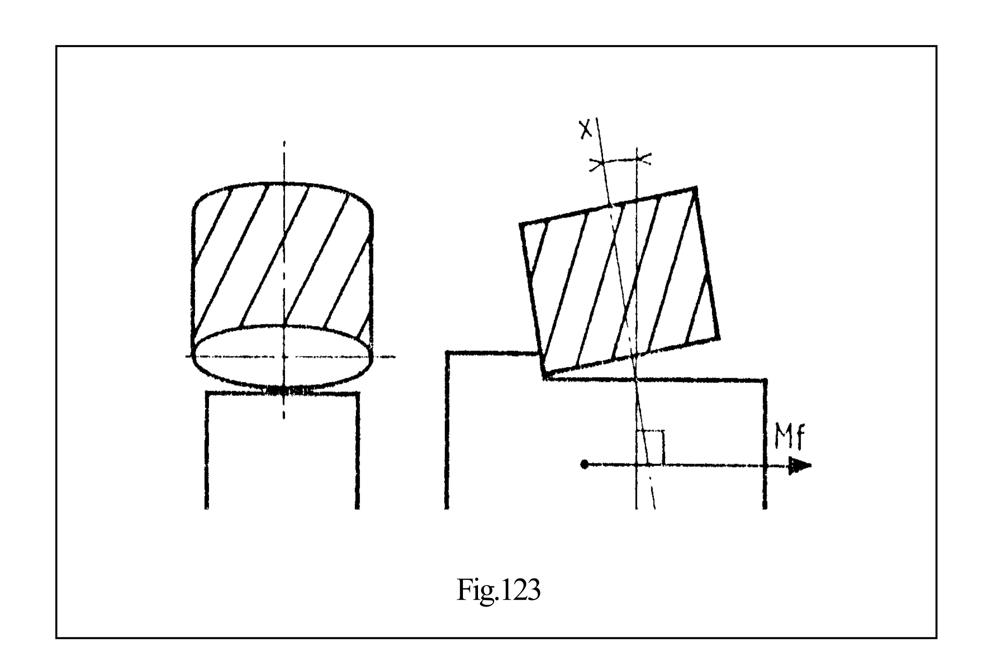


Fig.123

Exemple de contrôle avant usinage

La perpendicularité de l'axe broche avec la table de la fraiseuse est vérifiée avec un mandrin, porte-comparateur monté dans la broche.

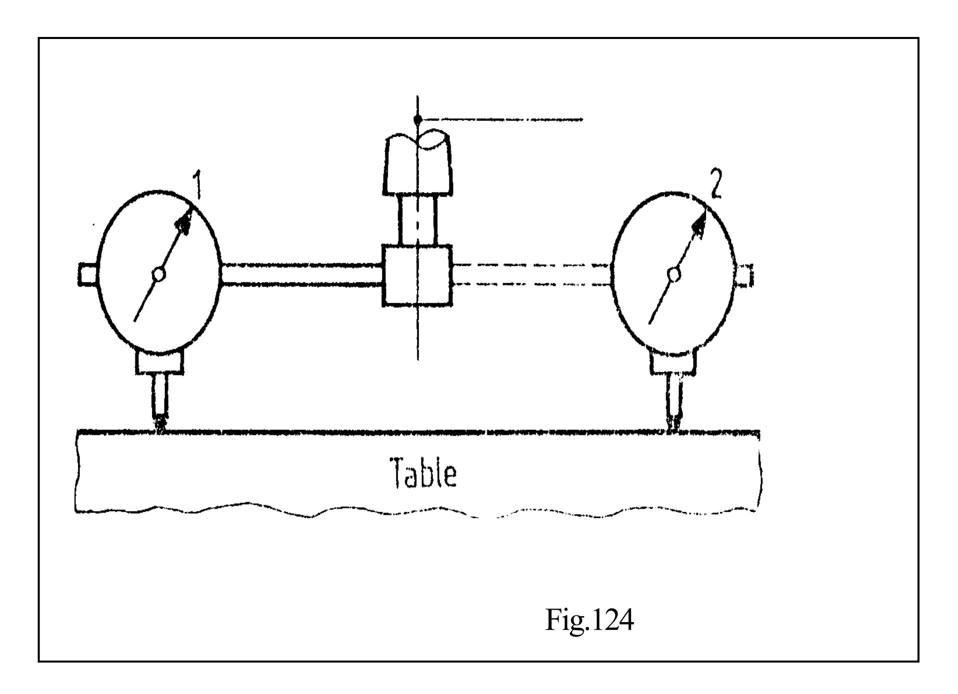


Fig.124

Translation de la pièce

En travail de finition la fraise doit entièrement balayer la surface à usiner

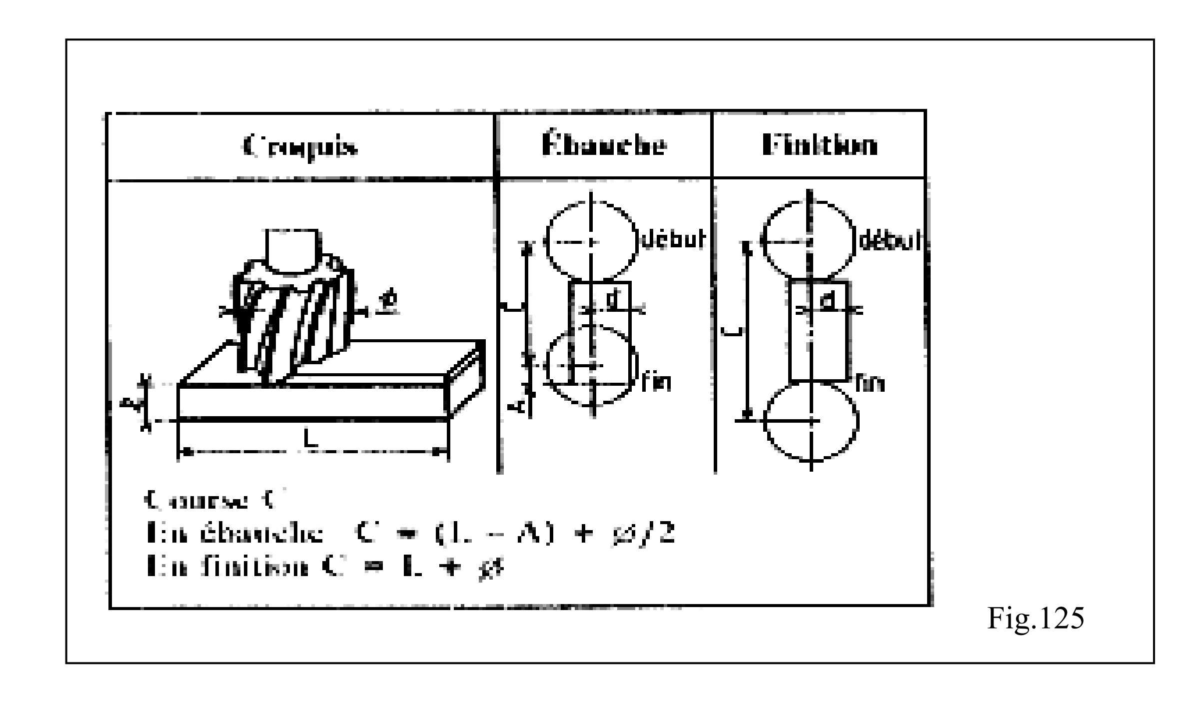


Fig.125

Précision en travail de finition

•Qualité 7 et 8 sur les dimensions.

- Rugosité $\sqrt{Ra = 1.6}$

- Planéité : elle dépend de la précision du réglage et du diamètre de la fraise.

16.4. Fraisage de profil (ou en roulant)

C'est la partie cylindrique de la fraise qui génère le plan.

A- **Outils**

Fraise 2 tailles, on usine avec la denture périphérique.

Fraise 1 taille, à surfacer ® ; fraise à rainurer CE ; fraise scie © .

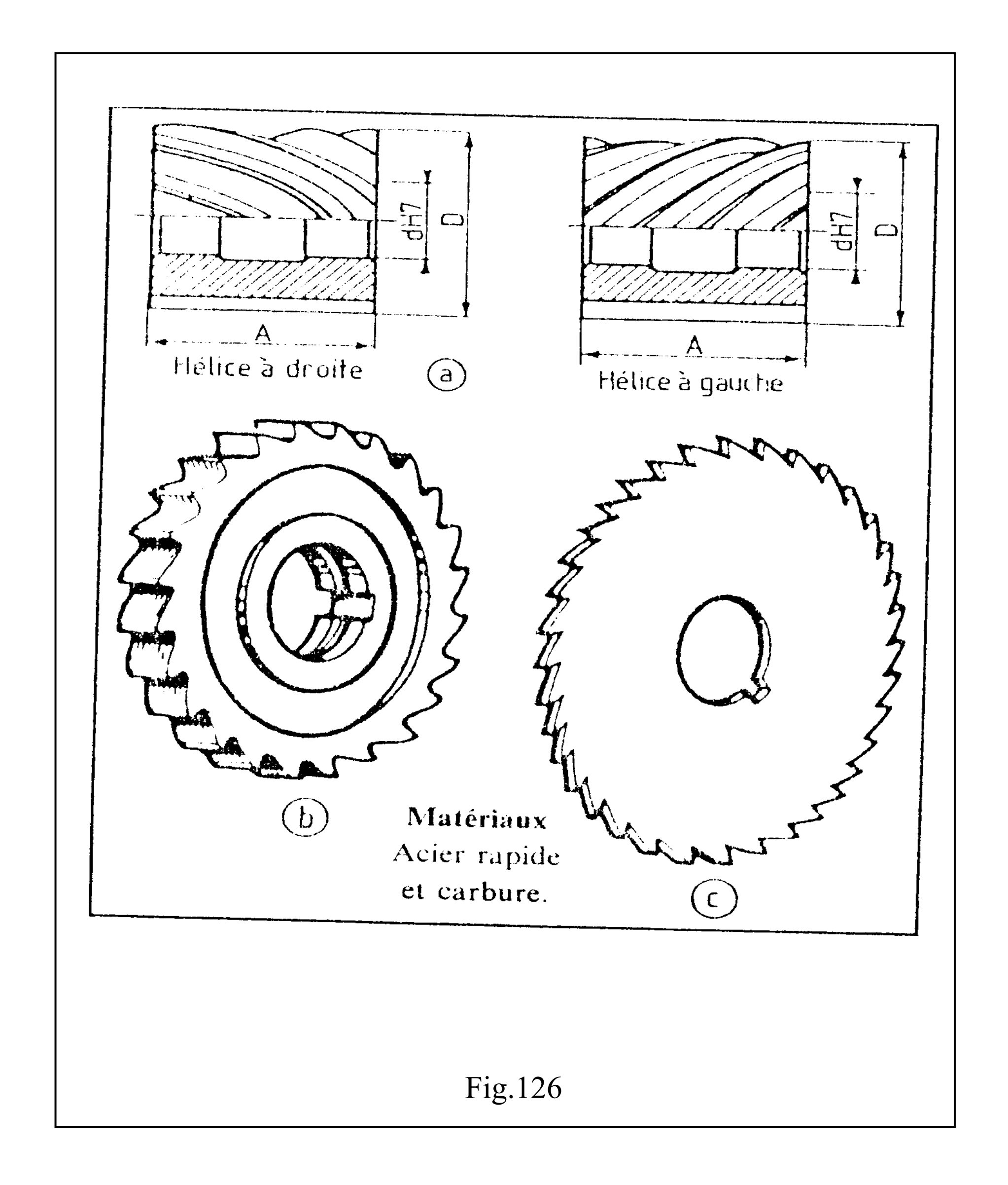


Fig.126

Fraise 3 tailles elle permet l'usinage de surfaces associées

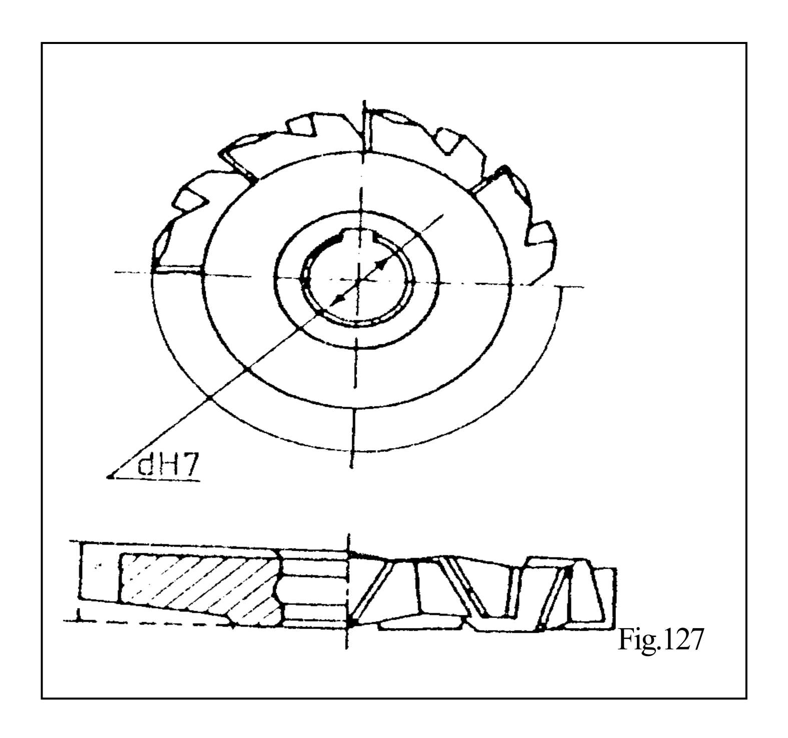


Fig.127

Mouvements de génération

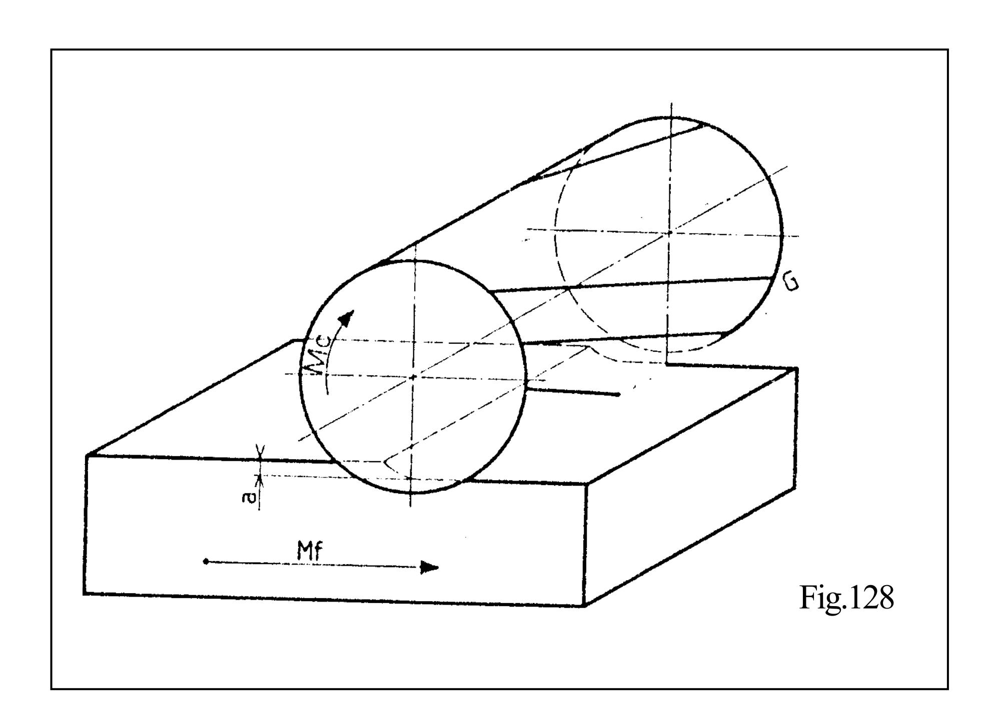


Fig.128

La surface enveloppe des arêtes de coupe de la fraise est un cylindre. L'outil est animé d'un mouvement de rotation (M_c) et la pièce du mouvement rectiligne d'avance (Mf)

La surface usinée est le résultat d'une génération linéaire, sa qualité géométrique dépend :

- de la rectitude de la trajectoire Mf.
- de la rectitude des génératrices de la surface enveloppe de la fraise.

Translation de la pièce

$$C = L + A \text{ avec} : A = \frac{1}{2}\sqrt{\phi^2 - 4x^2}$$

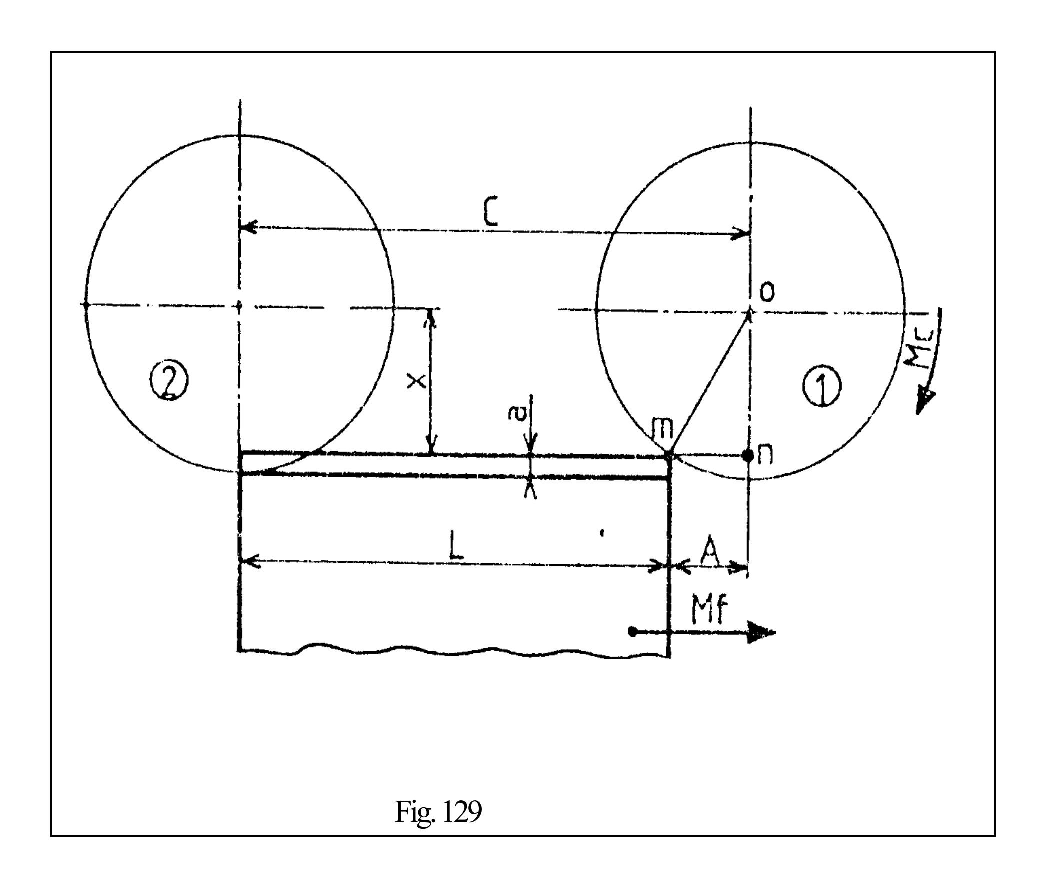


Fig. 129

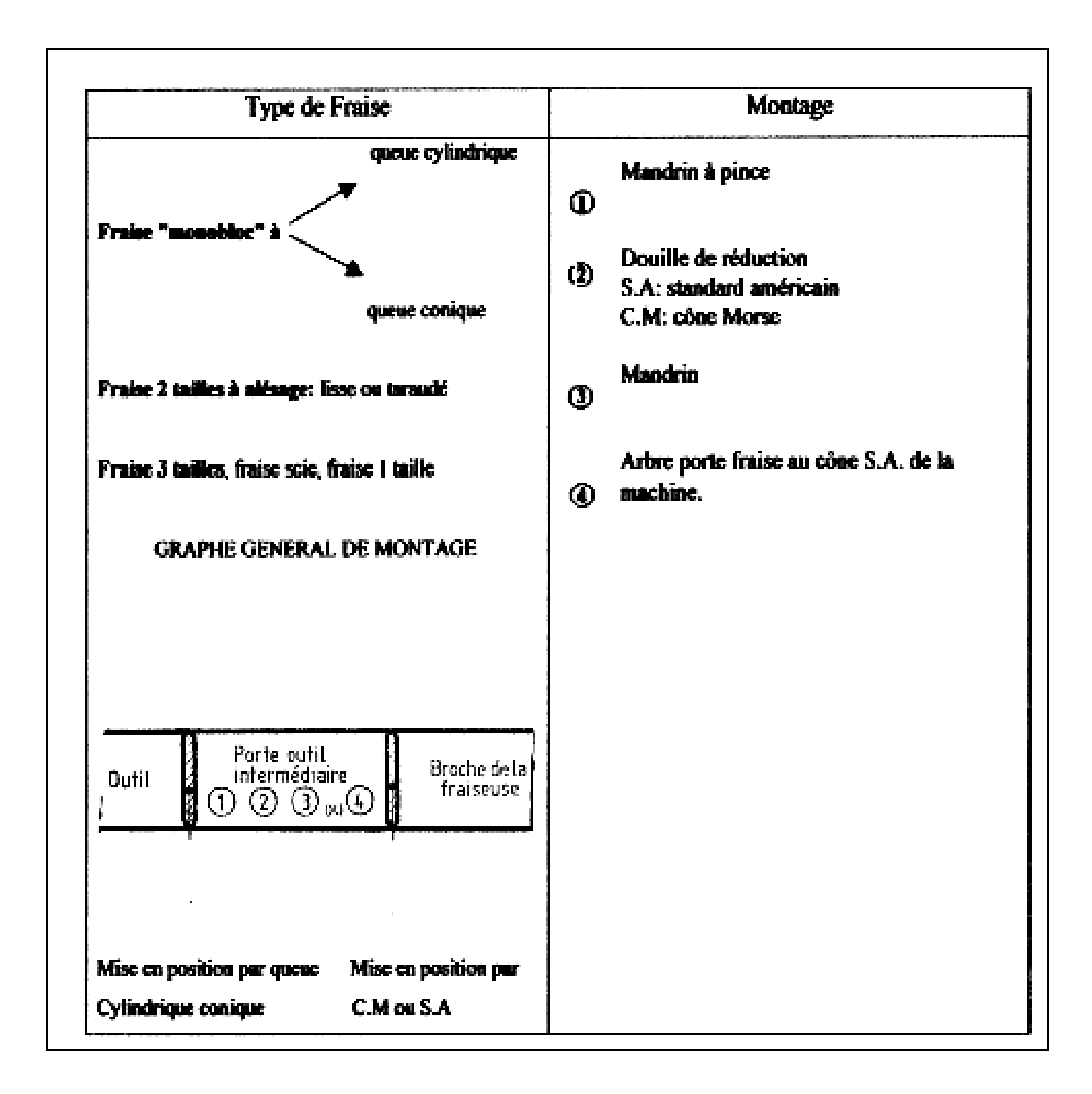
Précision en travail de finition :

- Qualité 8 sur les dimensions.
- Planéité : elle dépend de l'affûtage de la fraise.
- Rugosité : elle dépend du mode de travail et du 0 de la fraise. Valeurs courantes,

1-travail en opposition Ra = 3,2 à 6,4.

2-travailenconcordanceR_a=1,6à3,2

16.5. Fixation des fraises



Type de Fraise	Montage
Fraise "monobloc" à queue cylindrique / queue conique	① Mandrin à pince ② Douille de réduction S.A: standard américain C.M: cône Morse
Fraise 2 tailles à alésage: lisse ou taraudé	③ Mandrin
Fraise 3 tailles, fraise scie, fraise 1 taille	④ Arbre porte fraise au cône S.A. de la machine.
GRAPHE GENERAL DE MONTAGE	

16.5.1. Le mode de travail Que ce soit en fraisage de profil ou de face, on distingue deux modes de travail **fraisage** en " concordance " (ou en avalant) **fraisage** en "opposition ".

16.5.1.1. Fraisage en concordance

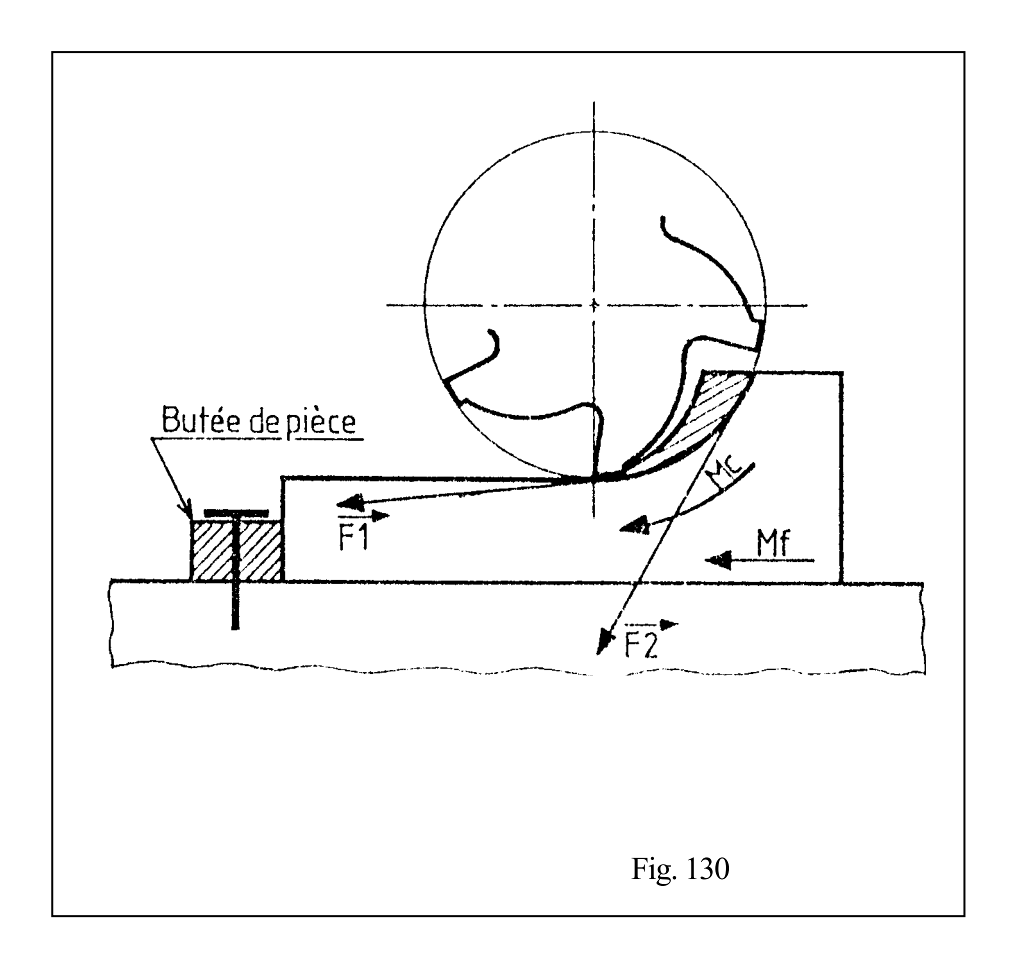


Fig. 130

Travail en concordance.

Dans la pièce, la trajectoire de rotation de la fraise est dans la **même sens** que le mouvement d'avance. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur maximale de coupeau, solution favorable

à l'obtention d'une bonne rugosité (voir chapitre copeau minimal).Les efforts de coupe F_1 et F_2 tendent à appliquer la pièce sur ses appuis, par contre le jeu axial de fonctionnement vis- écrou est constamment rattrapé.

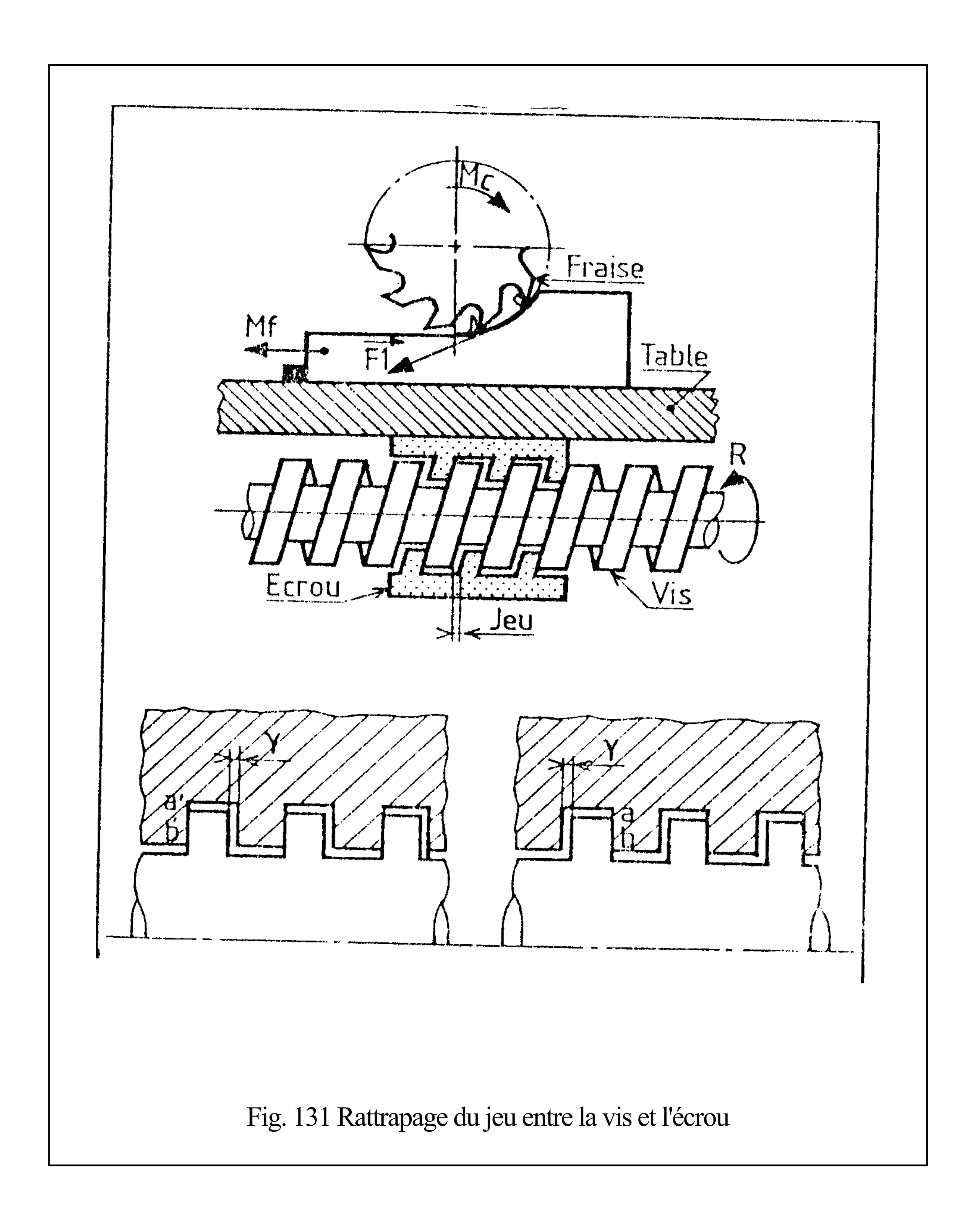


Fig. 131 Rattrapage du jeu entre la vis et l'écrou

Lorsque la vis commandant la poussée due à la coupe l'avance tourne, le contact tend à assurer le contact à lieu sur les flans a^1 b^1. Sur les flans *a b*.

Remarque:

Si la poussée due à la coupe était constante le contact se ferait en permanence sur les flans *a* - *b*. Mais comme il y a des irrégularités dans la coupe, c'est la vis qui devient l'élément moteur et les contacts s'effectuent en a^1 b^1 d'où les à-coups et les vibrations préjudiciables à la vie de l'outil.

Règle: Le fraisage en concordance nécessite des machines munies d'un dispositif de rattrapage de jeu dans le système vis et écrou de commande des déplacement de table.

16.5.1.2. Fraisage en opposition

Dans la pièce la trajectoire de rotation de la fraise est opposée à celle du mouvement d'avance. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur nulle de coupeau, il s'en suit que le métal est écroui jusqu'à ce que l'épaisseur devienne égale à l'épaisseur du coupeau taillé minimal. L'outil travaille dans de moins bonnes conditions, la rugosité augmente. Les efforts de coupe F_x et F_2 tendent à soulever la pièce qui doit donc être rigidement tenue, par contre le jeu axial de fonctionnement vis - écrou n'est pas rattrapé.

Règle:

Ce mode de travail peut être employé sur n'importe quelle machine.

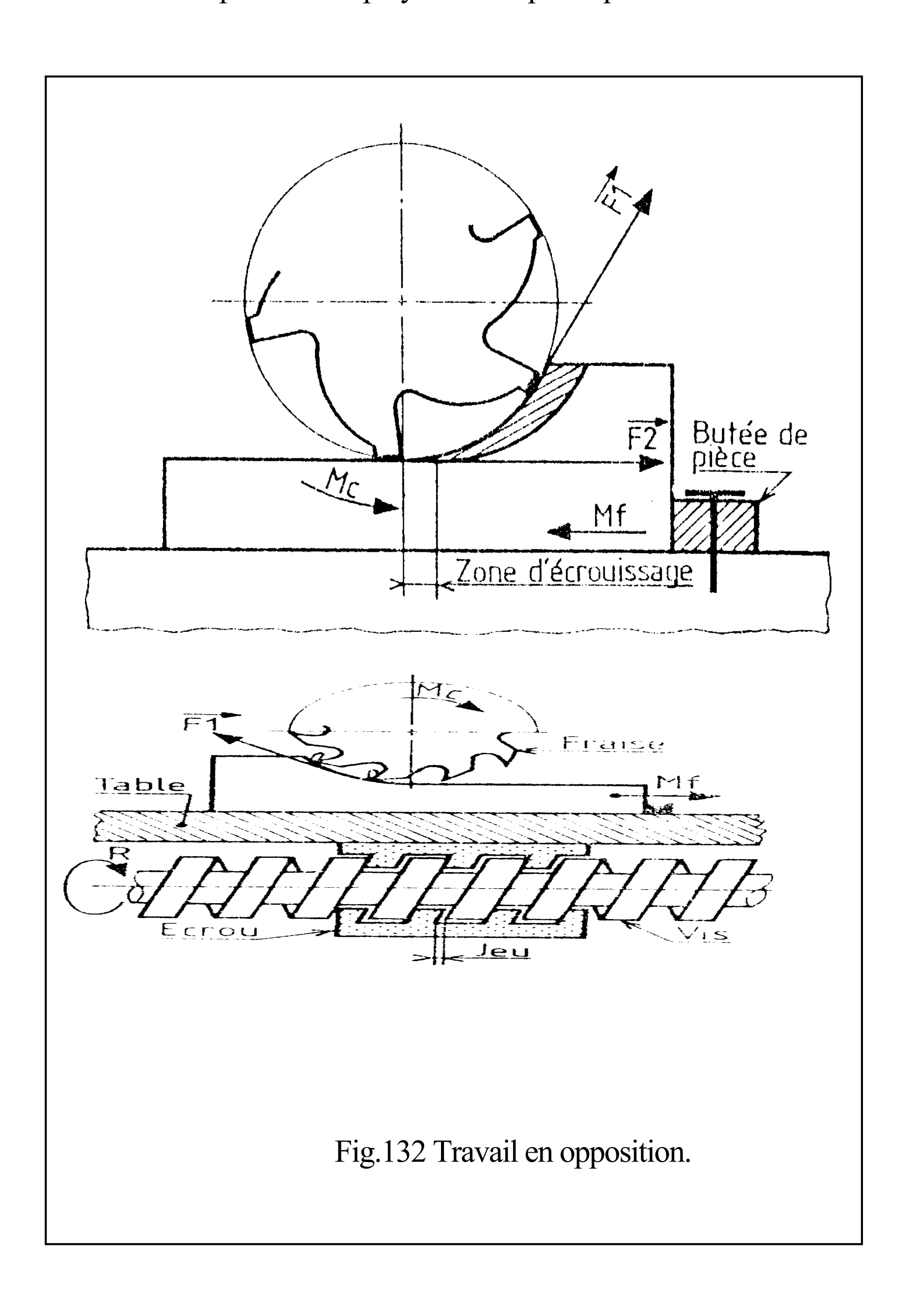


Fig.132 Travail en opposition.

Cas du fraisage de face

Suivant la position de la fraise par rapport à la pièce (déport) le mode de travail est en opposition . Suivant le sens de déport, la distance entre deux dents montre qu'au maximum on trouve:

- dans la zone AB de travail en opposition, deux dents en prise simultanément;
- dans la zone BC de travail en concordance, une seule dent en prise:

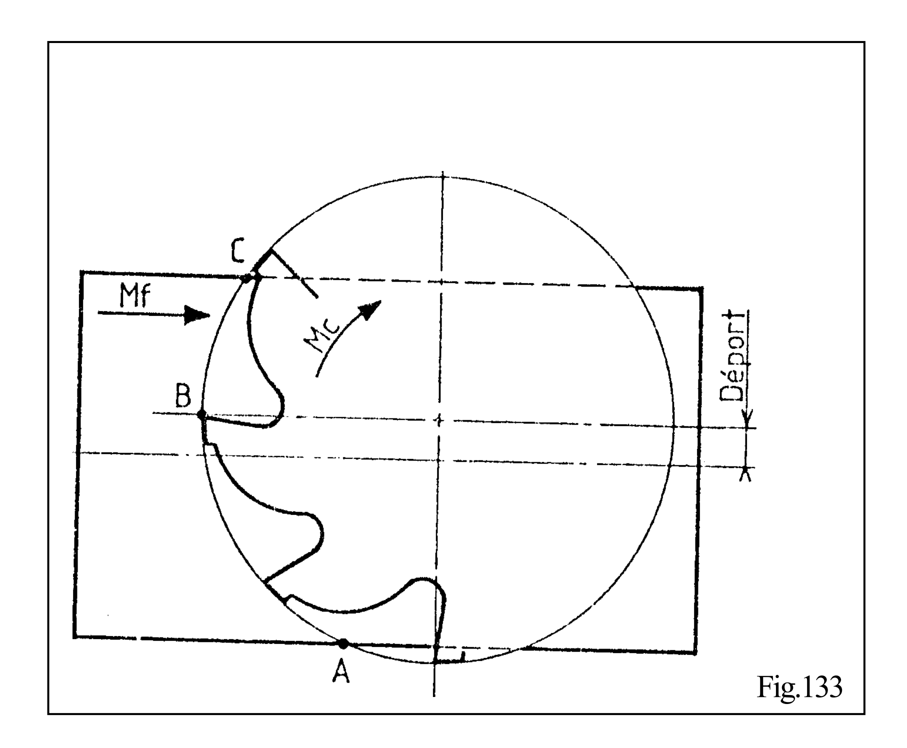


Fig.133

- dans la zone AB de travail en opposition, une seule dent en prise;
- dans la zone BC de travail en concordance, deux dents en prise simultanément.

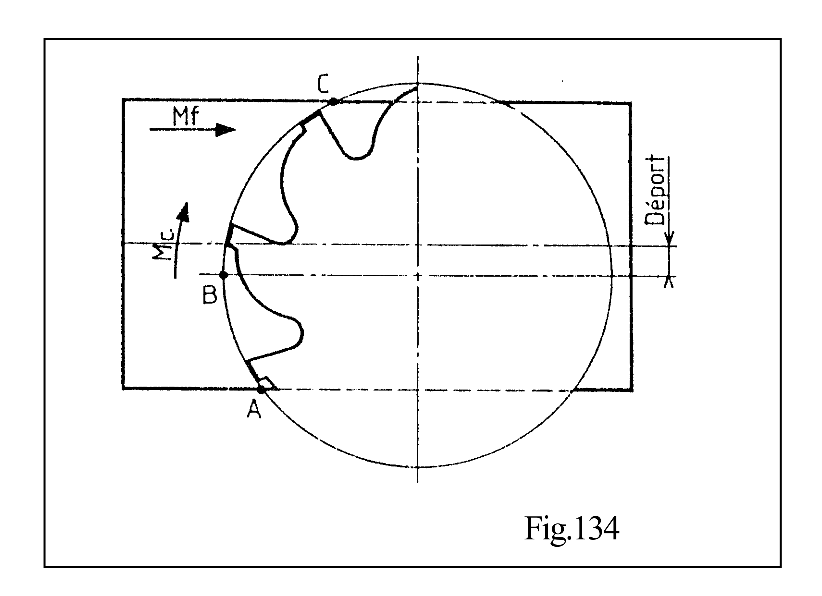


Fig.134

16.5.13.Conclusion

Sur une machine non munie de dispositif de rattrapage de jeu dans le système vis et écrou, il faut obligatoirement que l'outil travaille en opposition. En travail de face le déport doit entraîner une prédominance du fraisage en opposition.

16.6.Usinages associés

En fraisage, on réalise souvent plusieurs surfaces simultanément et l'on associe les fraises en bout et en roulant.

16.6.1. Fraise des épaulements droits à la fraise deux tailles

CasI La surface ® est fraisée en roulant. La surface est fraisée en bout.

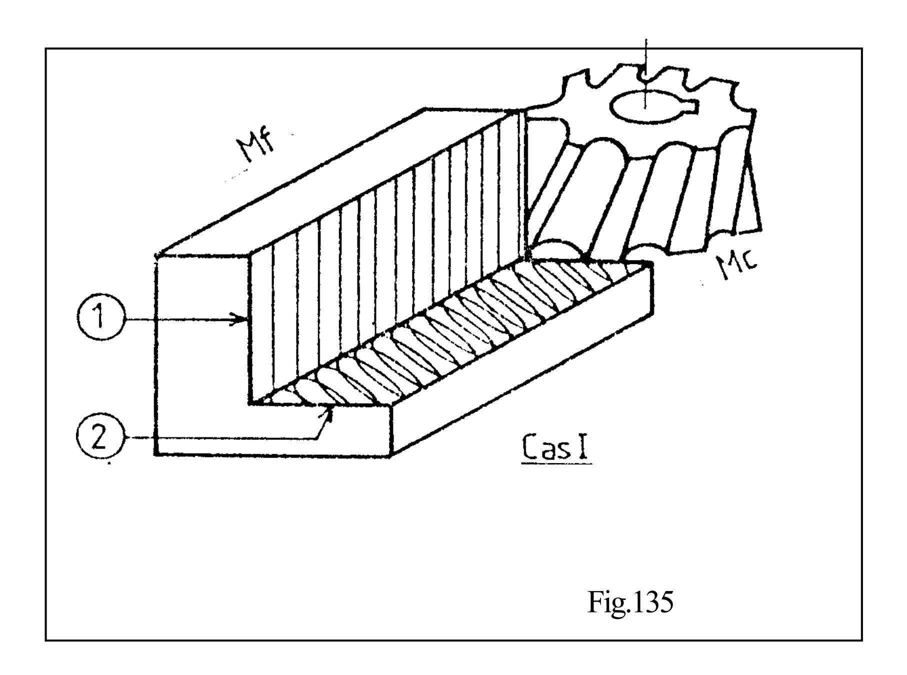


Fig.135

Cas II La surface £* est fraisée en bout. La surface (?) est fraisée en roulant.

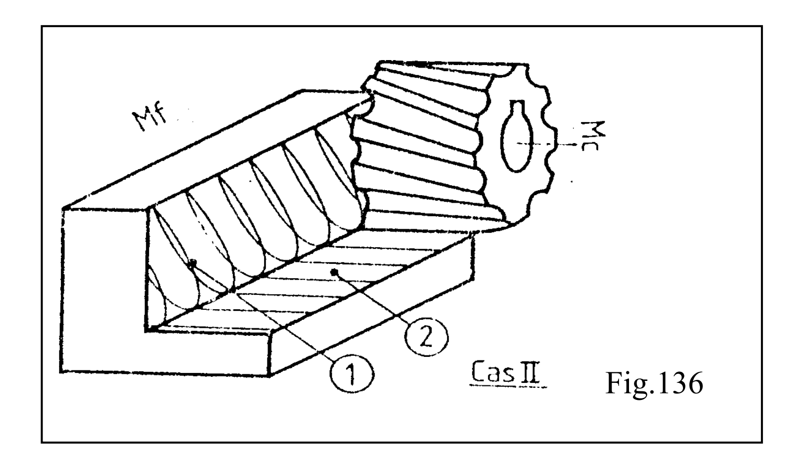


Fig.136

NOTA: La flexion radiale est beaucoup plus importante que la flexion axiale.

16.6.2. Fraisage d'une rainure

La fraise à trois tailles

Les surfaces ® et (?) sont fraisées de face. La surface (£ est fraisée en roulant.

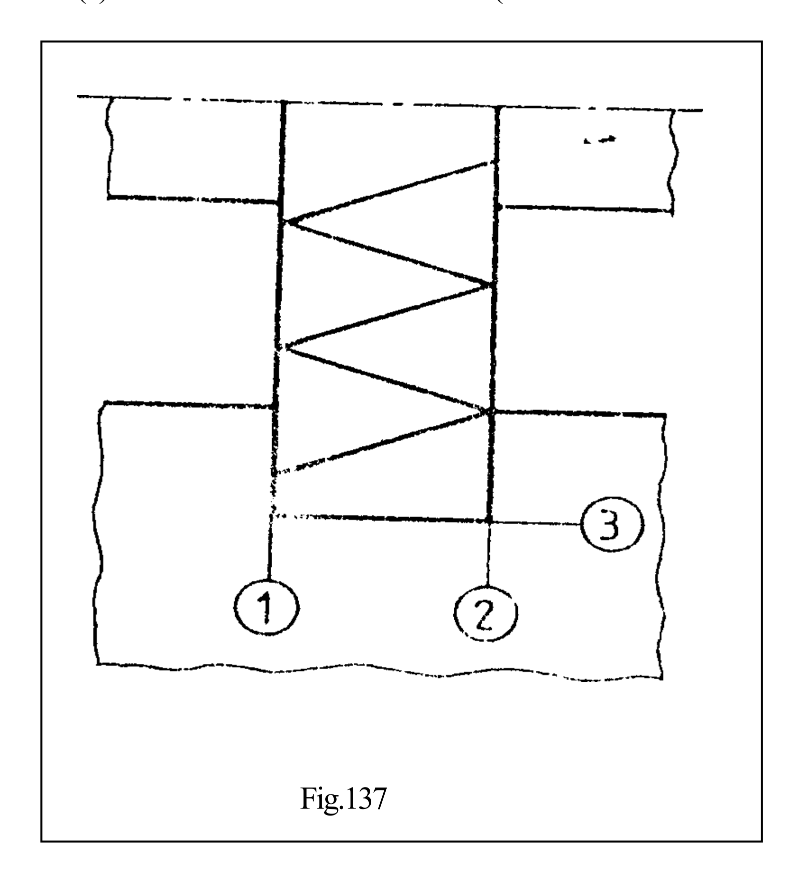


Fig.137

la fraise deux lèvres

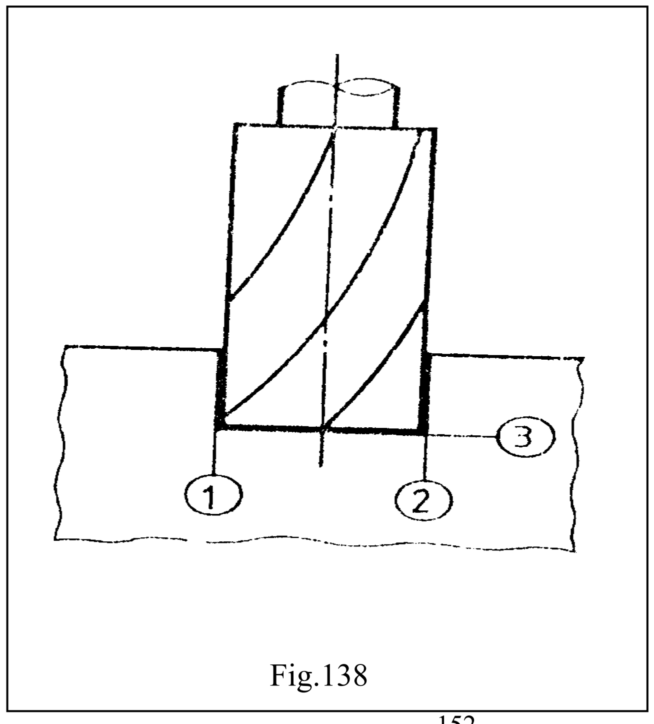


Fig.138

Fraisage d'une queue d'aronde

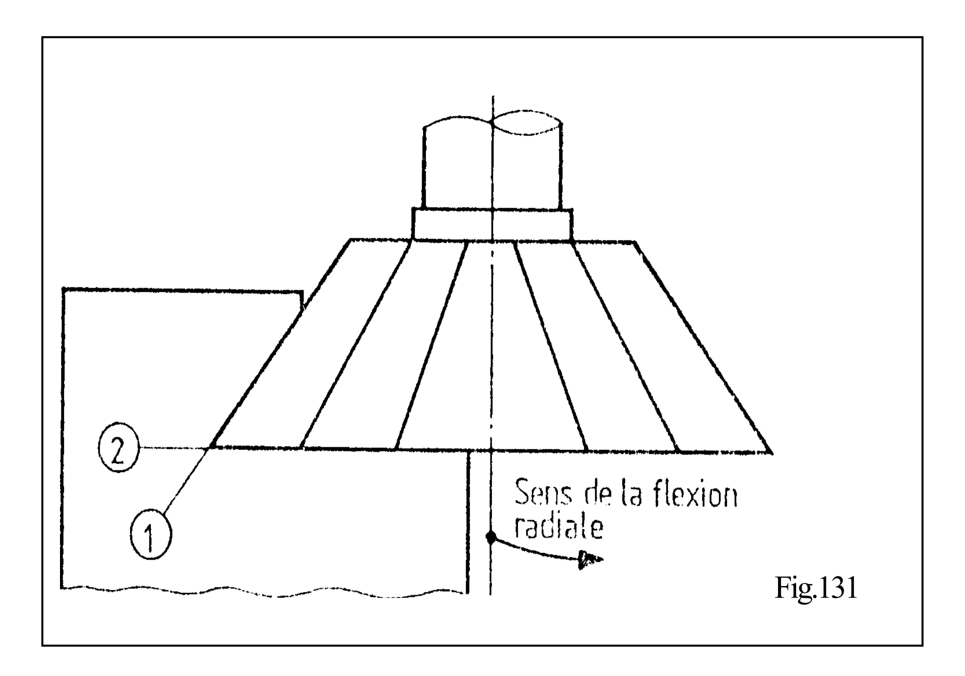


Fig.131

NOTA: La flexion radiale est beaucoup plus importante que la flexion axiale d'où la règle D. Règle: La surface la plus précise doit toujours être usinée en fraisage de face.

17. l'outil abrasif (l'outil meule)

Dans l'usinage par abrasion les outils de coupe sont remplacés par des cristaux d'abrasifs très durs et aux arêtes coupantes, généralement agglomérés sur forme de meule tournante, pendant se votation rapide autour de son axe, peut arracher de petits coupeaux aux surfaces qui sont présentées à son courbet.Les meules naturelles sont les plus anciennes. Elles sont taillées dans des pierres dont la plus employée est le grés, mais elles sont abandonnées à cause de leur manque d'homogénéité et leur friabilité impropre à retenir les grains durs abrasifs ne se prêtaient pas au maintien de leur forme géométrique initiale, le diamant fais partie aussi des meules naturelles et parmi les abrasifs les plus durs, mais son pris est très élevé, la face de la meule est incrustée de poudre de diamant, le diamant est symbolisé par la lettre D. Les meules artificielles actuelles sont constituées par des grains d'abrasifs disséminés dans un agglomérant on liant qui les retient tous avec la même cohésion. Les interstices qui les séparent et qu'on s'attache à laisser vides, sont les pores de la meule. Parmi les abrasifs artificiels on distingue:

- les abrasifs alumineux, ce sont des cristaux d'alumine désignés sous le nom de corindon et symbolisé par la lettre A que peut précédés un indice de pureté corindon 38A. (Alumine à 93 % Al). Ces abrasifs sont très durs, ils conviennent le mieux aux métaux tenace : Aciers, bronzes durs, fontes alliées.

- Les abrasifs siliceux, sont des carbures de silicium désignés sous le nom de crystolon et symbolisés par la lettre C, crystolon noir 37C, crystolon vert 39C. Ils sont moins durs que les corindons et ils conviennent au meulage de la fonte, du cuivre de l'aluminium, pour l'affûtage d'ébauche des carbures métalliques.

17.1. Mode d'action de l'outil meule

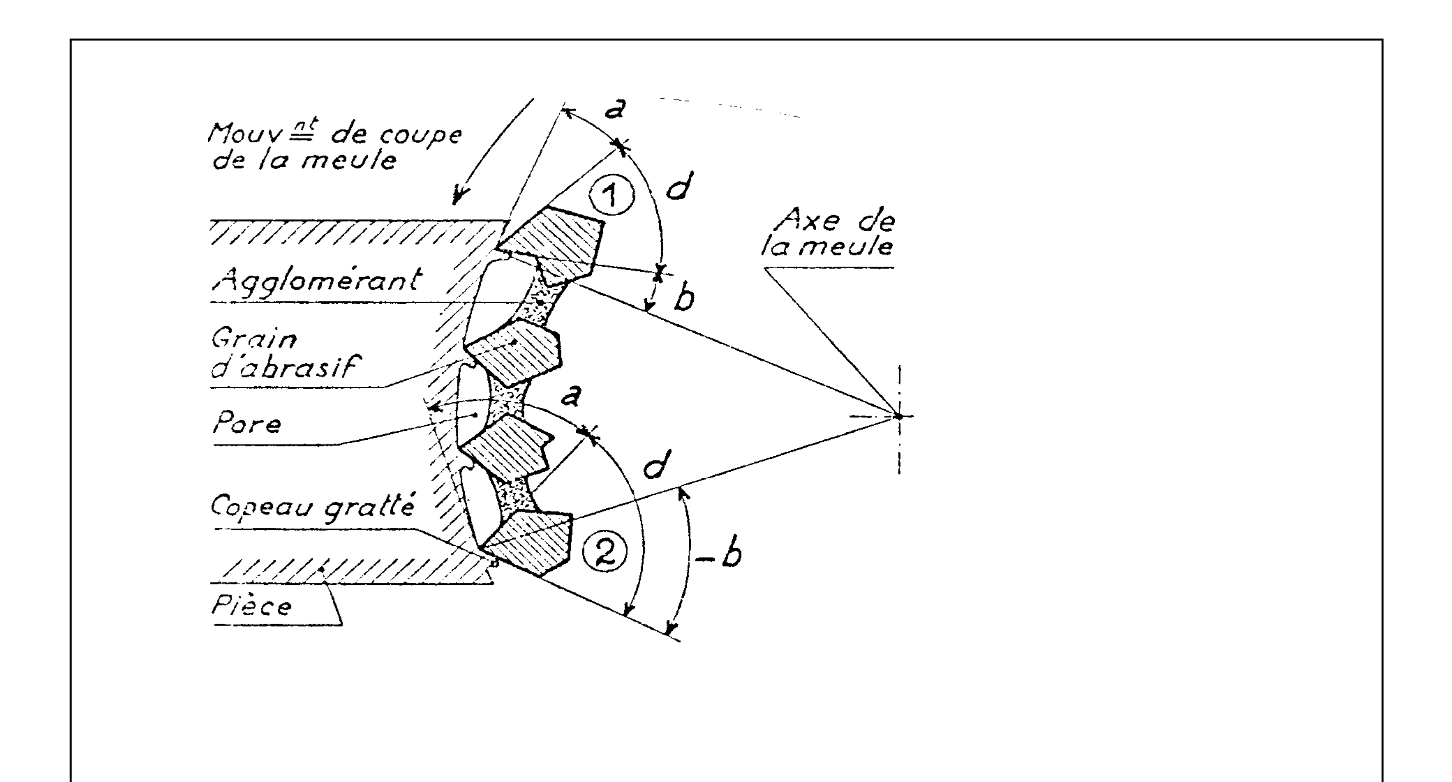


Fig.132 mode d'action d'une meule : le grain ® a une coupe positive. Le grain ® a une coupe négative

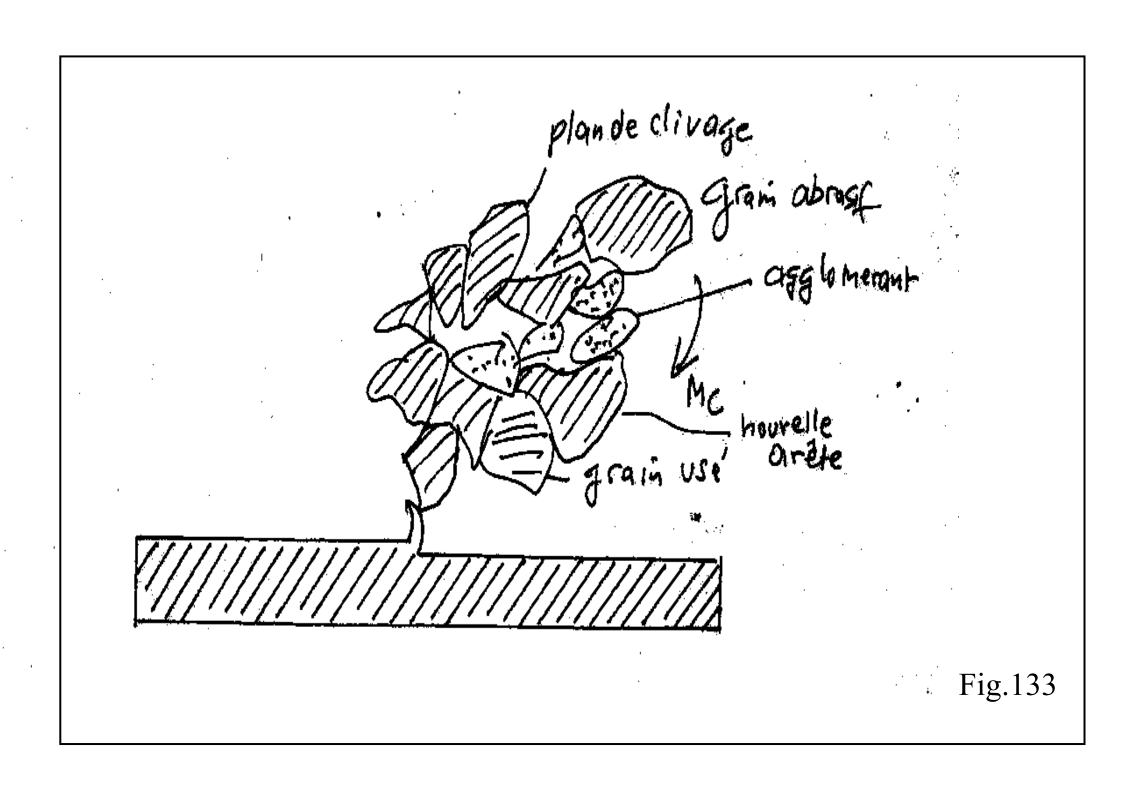


Fig.133

La pression exercée chaque grain provoque le clivage d'une portion de celui-ci, ce qui produit une nouvelle arête. La meule peut être considérée comme un outil de coupe à tranchants multiples. Chaque grain est un outil élémentaire et l'agglomérat est le corps porte-outil. Chaque grain présente une saillie comparable à la partie active de l'outil. Le grain 1 travaille avec une coupe positive et le grain 2 travaille avec une coupe négative. Chaque grain, au cours de l'avance et compte tenu de la profondeur de passe qui est toujours très faible enlève un copeau mince et court, c'est un copeau gratté. Au cours du travail, le tranchant des grains diminue ce qui augmente le frottement meule-pièce et provoque réchauffement des grains et de l'agglomérant. Les grains usés s'échappent alors et mettent à jour des grains neufs et ainsi de suite.

17.2. Caractéristiques des meules

La forme et les dimensions sont adaptées à l'usage envisagé du point de vue géométrique et la composition est la caractéristique fondamentale du point de vue du travail de coupe.

17.2.1. Caractéristiques de forme

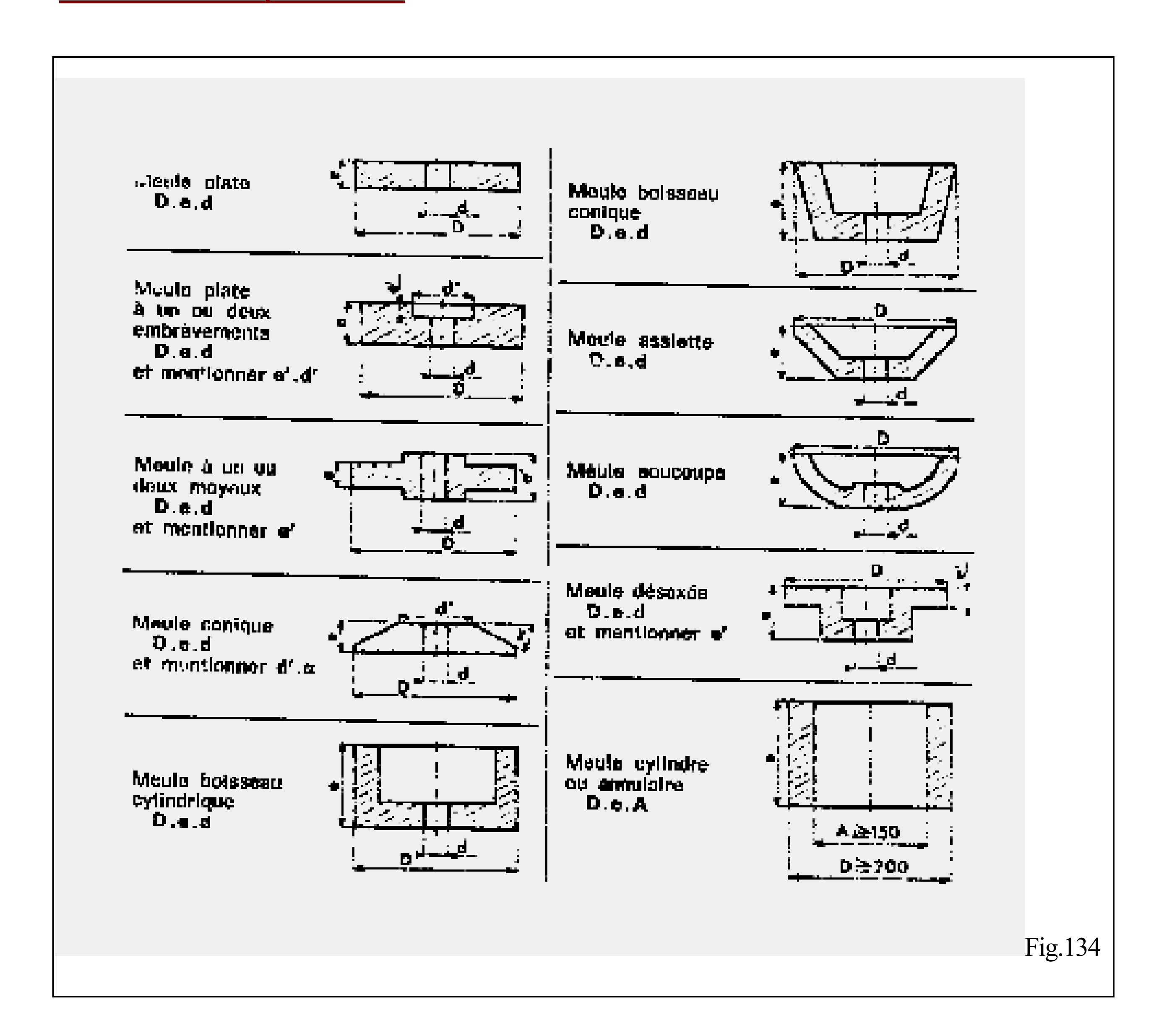


Fig.134

Les **meules plates,** généralement peu épaisses et ç faces planes travaillent avec leur chant qui peut être rectiligne ou profilé. On les utilise pour le surfaçage plan, cylindrique ou conique, pour l'affûtage des fraises, des tarauds, des alésoirs, pour la rectification des filets de vis, ou pour des meulages de forme Les **meules soucoupes, assiettes, boisseaux cylindriques ou coniques,** travaillent par leur face en couronne circulaire perpendiculaire à l'axe. Leur usure est ainsi très localisée et elles sont commodes pour l'affûtage des fraises et des alésoirs. Les **meules cylindriques** travaillent par leur face en couronne circulaire bien dégagée et on les réserve au surfaçage plan.

17.2.2 Caractéristiques de dimensions

Les dimensions principales d'une meule, qu'on doit **indiquer dans cet ordre,** sont: **Le diamètre D, l'épaisseur e, le diamètre d'alésage d.** Des cotes complémentaires de forme sont données si nécessaire.

forme	Désignation	Principales utilisations
	Plate ou disque	Rectification cylindrique, sans pointes, intérieure, plane et meulage occasionnel.
	a embrèvement (un côté)	Rectifieuses cylindriques, sans pointes, intérieures et planes. L'embrèvement sert de logement au flasque de montage.
	Boisseau droit	Affûteuse d'outil et de fraises et rectification plane sur rectifieuses.
	A embrèvements (deux côtés)	Rectifieuses cylindrique, sans pointes et planes. Les embrèvements servent de logements aux flasques de montage
	Boisseau conique	Affûteuse d'outils et de fraises. sert essentiellement à l'affûtage des fraises et des alésoirs.
	assiette	Affûteuse d'outils et de fraises. Sa mince rive permet l'affûtage des outils à rainures étroites.
	Meules sur tige	Utilisées sur rectifieuses cylindriques intérieures et sur les meuleuses portatives pour les travaux d'outillage (moule)
	Meule boisseau droit à support métallique	Affûtage des outils en carbure et en céramique.

Les dimensions

Elles sont choisies en fonction de la machine et du genre de travail à exécuter.

Désignation d'une meule plate: *DxExA;*

Exemple: 300x40x32

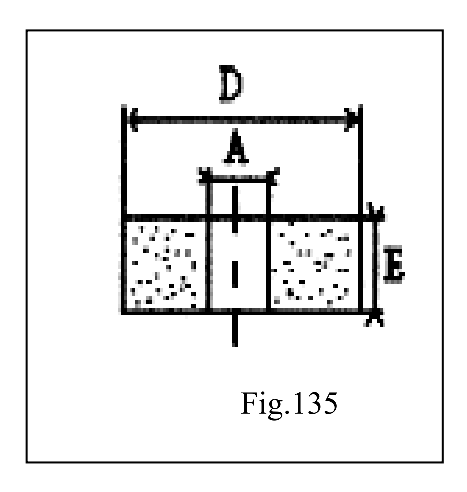


Fig.135

Désignation d'une meule boisseau cylindrique:

D x E x A, on précise en outre les épaisseurs B et F.

Exemple:

63x40x40,   5 = 10, F = 10

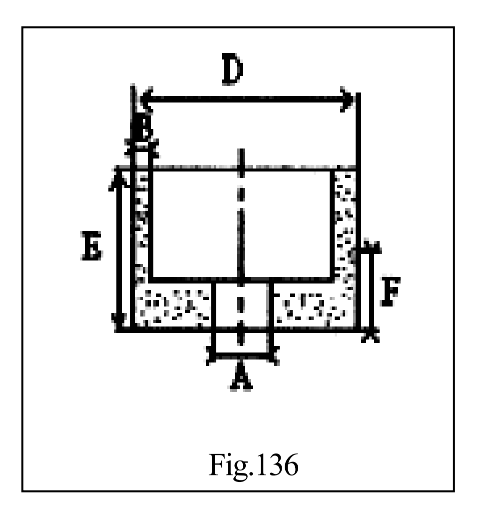


Fig.136

17.2.3. Caractéristiques de composition

La nature des grains d'abrasif et de l'agglomérant ne suffisent pas à caractériser la meule. Il y a en effet une infinité de manières de les combiner. On a donc retenu cinq critères fondamentaux qui sont inscrits sur la meule dans l'ordre où nous les citerons et qui la caractérisent sans ambiguïté.

1- Nature de l'abrasif

a. Abrasifs artificiels

Les **abrasifs alumineux** sont des cristaux d'alumine qu'on désigne sous le nom de corindon et qu'on symbolise par la lettre A que peut précéder un indice numérique. **Exemple:** corindon **38A** (Alumine à 99 % de pureté), corindon **19A** (pureté à 95%), corindon A (pureté à 85 % seulement).Les abrasifs sont très durs et conviennent le mieux pour les métaux tenaces : aciers, bronzes durs, fontes alliées.

Les **abrasifs siliceux** sont des carbures de silicium désignés sous le nom de **crystolon** et qu'on symbolise par la lettre C : crystolon noir 37C, crystolon vert 39C, par exemple.

Ils sont moins durs que les corindons et ils conviennent au travail de la fonte, du cuivre, du bronze ordinaire et de aluminium. On les emploie aussi pour l'affûtage d'ébauche des carbures métalliques sur lesquels leurs cristaux se brisent, présentant ainsi constamment de nouvelles arêtes coupantes vives.

b.Abrasifsnaturels

Les plus anciens sont l'émeri et le corindon naturel mais tous, à l'exclusion du diamant, ont été abandonnés en raison de leur manque d'homogénéité.

Le diamant (*), seul utilisé, est symbolisé par la lettre D, sans indice de classement. C'est le plus dur des abrasifs mais son prix très élevé le fait réserver au meulage de corps très durs, outils en carbures métalliques en particulier. La meule est constituée par un disque métallique dont la face utile est garnie de poudre de diamant incrustée (fig.137).

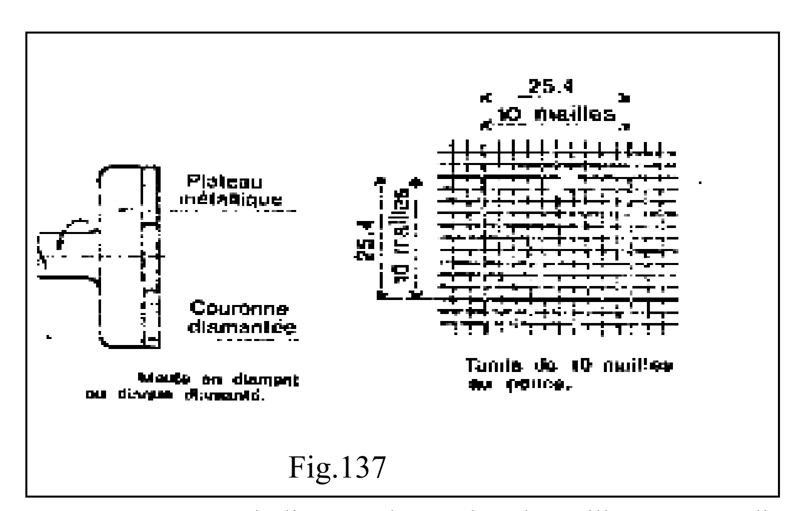


Fig.137

2- Grosseur des grains : La grosseur est symbolisée par le nombre de mailles au pouce linéaire d'un tamis au travers duquel les grains ont passe. Ainsi, un grain Nol0 a comme grosseur maximale. 25,4: l0 ev 2,5 mm. Les grains très fins, au-delà du No320, ont la consistance d'une poudre et on la définit par son temps de décantation.

Exemple: la poudre 10mm, recueillie après la 10e minute de décantation, correspond sensiblement au N°400.

L'état de surface obtenu dépend de la grosseur des grains. Ainsi, les très gros grains (N°10) laissent une trace grossière, les grains moyens (N°36) une rugosité nettement visible, les grains fins (N°120) un très bon fini, et les poudres (N°800) permettent d'atteindre le poli miroir.

3- Grade

Le grade d'une meule caractérise la force avec laquelle l'agglomérant retient les grains, c'est-à-dire la résistance à la désagrégation de la meule en cours de travail. On l'exprime par une lettre allant de C à Z (voir tableau figure).

En examinant son grade, on peut donc dire d'une meule qu'elle est dure, ou qu'elle est tendre, tout en remarquant que la cohésion des grains est totalement indépendante de leur dureté propre.

Le grade d'une meule doit être adapté aux conditions de travail.

a. Adaptation du grade à la dureté et à la ténacité du métal meule.

Un métal dur et tenace use rapidement les grains qu'il faut donc libérer facilement pour faire place aux nouveaux, ce qui **impose un grade tendre.** Inversement, **un métal tendre exigera un grade dur.**

Si la meule se lustre, son grade est trop dur, si elle s'use trop vite, son grade est trop tendre.

b. Adaptation du grade à l'étendue de la surface de contact meule pièce.

Pour un même métal meule, l'usure des grains est d'autant plus grande que la surface de contact meule pièce est plus importante.

Il faut donc **un grade tendre pour une grande surface de contact,** et inversement.

c. Adaptation du grade à la vitesse de rotation de la meule.

Une plus grande vitesse périphérique de la meule correspond à un temps de contact plus court entre les grains et le métal meule et, par suite, à un échauffement moins important de l'agglomérant qui conserve mieux son pouvoir liant. La meule se désagrège donc moins vite.

Par suite, **un grade tendre sera associé à une vitesse périphérique élevée,** et inversement

4.Structure

La structure est l'indice d'espacement des grains dans la masse et, par suite, de la grandeur des pores de la meule. Elle s'exprime par un nombre, de 0 à 12. **Le** N° **0 caractérise une meule à structure fermée,** où les pores sont les petits, alors que **le** N° **12 caractérise une meule à structure ouverte,** où les pores sont les plus gros (Fig. 138).

Les pores périphériques servent de réceptacle au coupeau au cours du contact meule pièce. Il faut donc adapter la structure aux conditions de travail.

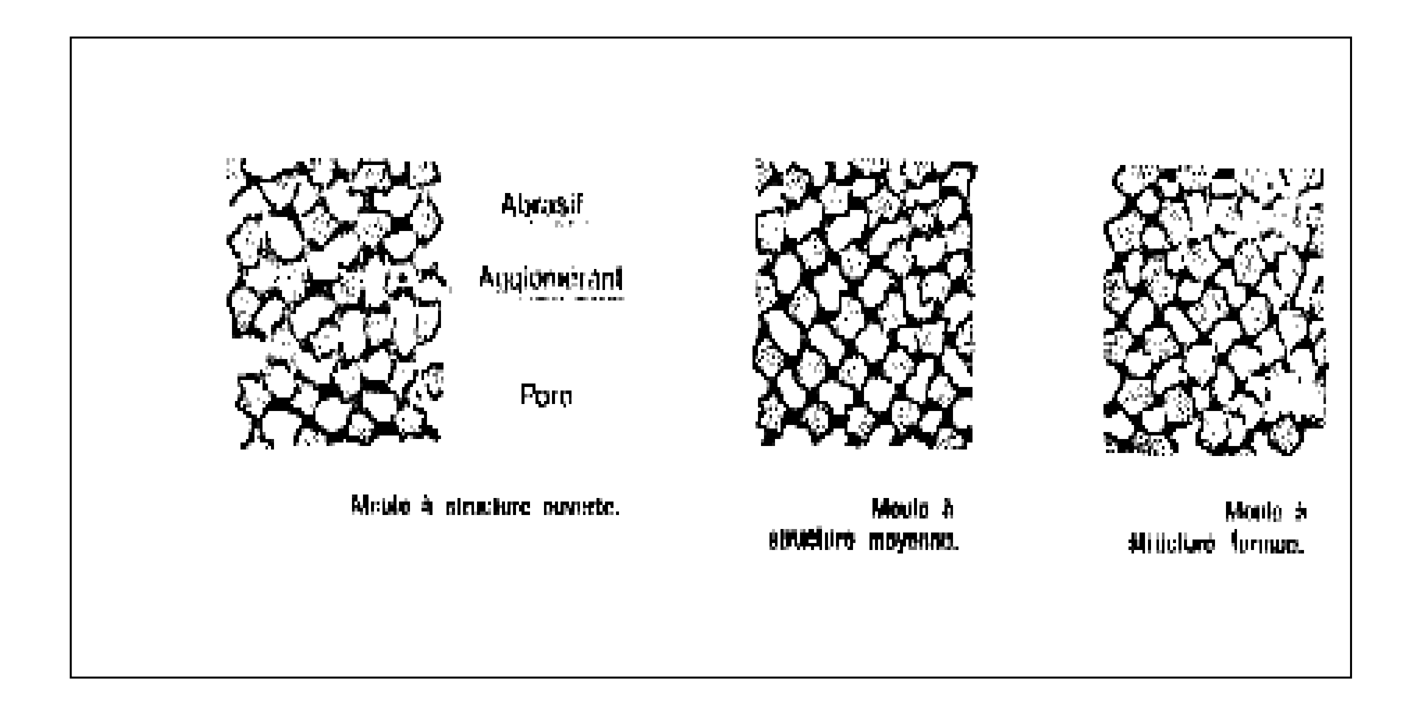


Fig. 138

a.Adaptation de la structure à la nature du meulage

A de gros copeaux, **pour un travail d'ébauche, il faut** associer de gros pores, c'est-à-dire **une structure ouverte. Pour un travail de finition, il faut une structure fermée.**

b. Adaptation de la structure à retendue de la surface de contact meule pièce

Une grande surface de contact entraîne, pour une même opération, la formation de plus gros coupeaux. **Il faut donc prévoir une structure d'autant plus ouverte que la surface de contact meule pièce est plus étendue.**

5.Agglomerant

L'agglomérant assure la cohésion homogène des grains. On l'adapte au mode de travail.

a .Agglomérants vitrifiés

Ils ont pour base l'argile qui se vitrifie à la cuisson et qui peut ainsi supporter parfaitement les liquides d'arrosage. Les meules vitrifiées sont de haute qualité et, par suite, très utilisées.

La lettre V est leur symbole. Elle peut être suivie d'autre lettres indiquant la pureté de l'agglomérant.

Exemple: VBE qui caractérise un agglomérant vitrifié de qualité supérieure.

b.Agglomérantssilicates

Ils résultent de la cuisson du silicate de soude et ils entrent surtout dans la fabrication des meules de grand diamètre.

c. Agglomérants dits élastiques

Les résines synthétiques, **symbole B,** servent à confectionner des meules très minces, meules à tronçonner, appelées communément "meules bakélites", et meules pour l'affûtage des fraises.

Le caoutchouc ou rubber, symbole R, est l'agglomérant des meules d'entraînement pour la rectification sans centres et des meules utilisées pour des finitions très poussées et à des cotes précises.

17.2.4. Conditions d'utilisation des meules

La vitesse est le principal facteur du détachement du copeau par le grain d'abrasif. Mais, le code du travail, pour des raisons impératives de sécurité, limite la vitesse circonférentielle des meules. De plus, la désagrégation de la meule consécutive à réchauffement impose des limites pour l'avance et la profondeur de passe ainsi que pour le refroidissement par arrosage.

A.Vitesse circonférentielle

Elle dépend de la nature de l'agglomérant, du grade, et aussi de la forme de la meule. Chaque élément de la meule, de masse M (fig. 141), dont le centre de masse G est situé à une distance R de l'axe de rotation et dont la vitesse angulaire est w, est sollicité par une force centrifuge de valeur **$F = Mw^2R$.** Une trop grande vitesse peut donc provoquer l'éclatement de la meule, la force de cohésion de l'agglomérant devenant inférieure à la force centrifuge. Il ne faut donc pas dépasser les valeurs données par le tableau figure et de plus, pour éviter tout accident, il faut entourer la meule en rotation d'un carter de protection. A titre indicatif, un fragment de meule de masse M =0,1 kg situé à une distance R = 0,2m de l'axe et animé d'une vitesse linéaire v = 30 m/s, serait sollicité par une force centrifuge:

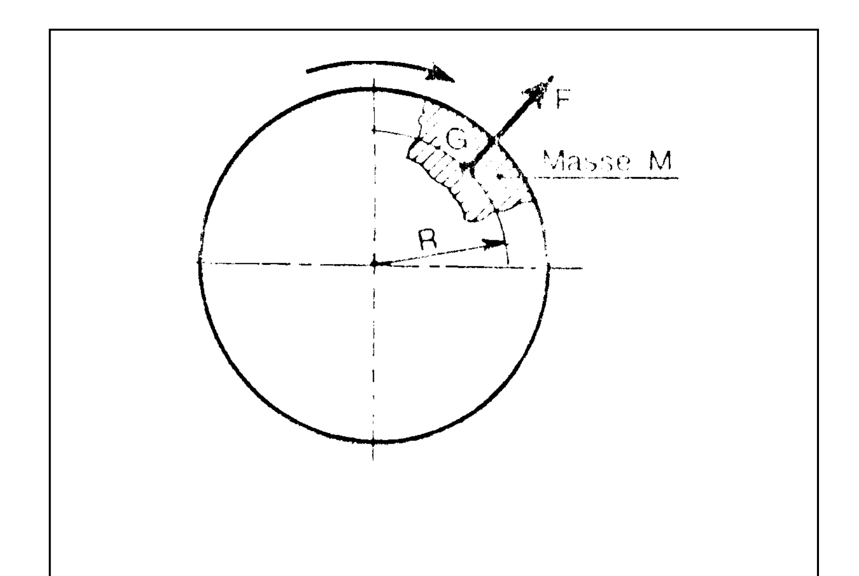


Fig. 139 Action de la force centrifuge sur un élément de meule

Type de meule	Grosseur du grain	Nature de l'agglomérant et grade					
		Vitrifié et silicate			Résinoïde et caoutchouc		
		Grade tendre	Grade moyen	Grade dur	Grade tendre	Grade moyen	Grade dur
		m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Meules plates et assiettes	24 à 16	23	25	33	30	40	50
	30 et plus fin	28	30	33			
Meules cylindres	24 à 16	23	25	28	25	30	
	30 et plus fin	25	28	30	30	35	40
Boisseaux droits et coniques	24 à 16	25	25	28	25	35	40
	30 et plus fin		28	30	30	40	45
Meules de tronçonnage	20 à 16				50	55	
	30 et plus fin				55	60	60

B. Choix de l'avance

Si l'avance par tour de pièce est égale à l'épaisseur de la meule, son usure est régulièrement répartie, mais aussi tout défaut du profil est systématiquement reproduit.

Si l'avance est faible, les défauts de la surface meulée sont atténués mais le bord d'attaque de la meule, qui seul détache les copeaux, se trouve rapidement usé.

Il faut donc adapter une solution intermédiaire, soit:

- Pour l'ébauche, une avance par tour de pièce est égale à la moitié de l'épaisseur de la meule, a = e/2.
- Pour la finition, une avance plus faible, a = e/8 à a = e/3.

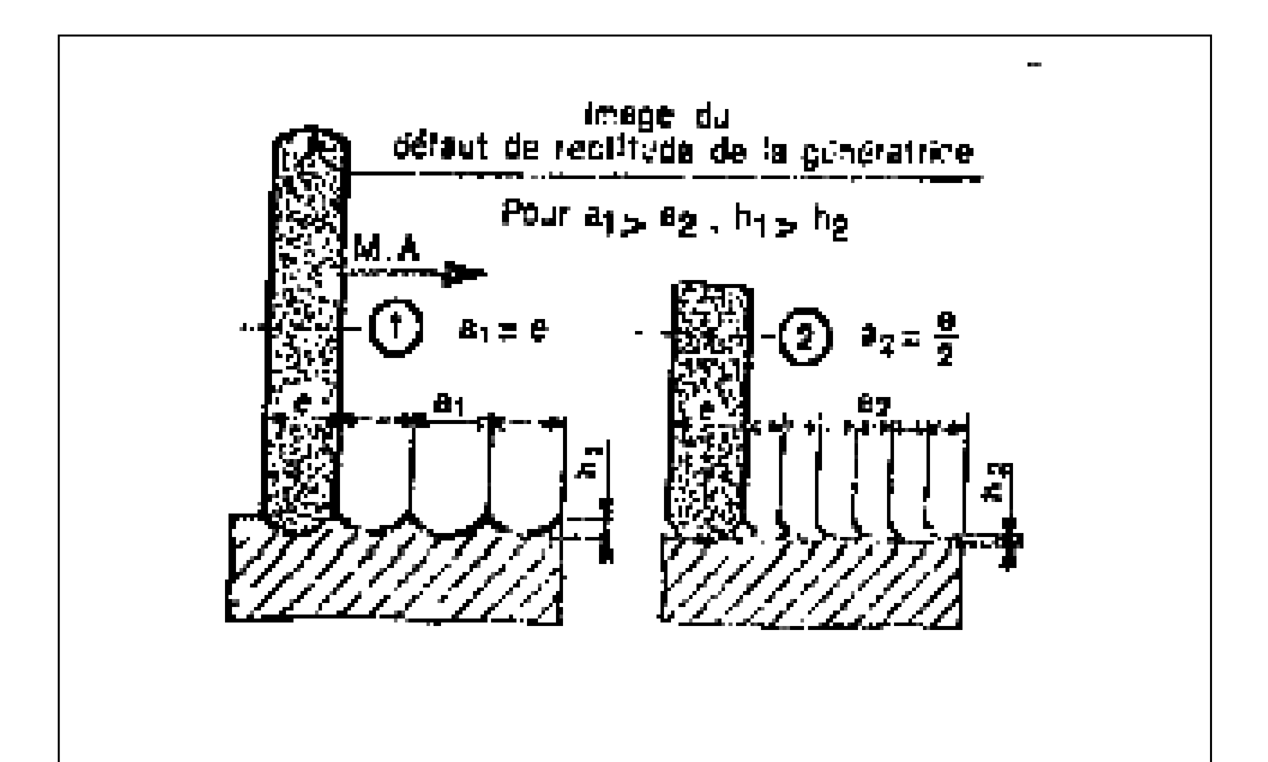


Fig. 140 .Influence de l'avance sur le défaut de rectitude de la génératrice de la meule et sur la correction de la surface obtenue.

L'avance a' par tour de meule est toujours faible. Elle est donnée par la relation:

$$a' = a \times \frac{N\ tr/\min\ de\ la\ pièce}{N\ tr/\min\ de\ la\ meule}$$

Exemple: Pour e = 40 mm, $a = \frac{e}{2}$ = 20mm, N'= 20 tr/min *et N*=- 1500/r/min, *on aurait* :*a'=20*20/1500=0.26mm*

En supposant que la meule ait un diamètre de 360 mm et que les grains soient espacés de 1 mm, le nombre de grains qui, par tour de meule et sur une largeur de 40 mm, serait passé sur la pièce, serait égal à: $\frac{360x3.14x40}{1}$=4500 environ Au cours de l'avance de 0,26 mm, correspondant à un tour de meule, chaque grain actif, parmi les 4500, aurait donc détaché un copeau extrêmement petit.

D. Profondeur de passe

Elle doit varier en fonction de la nature du travail mais aussi de la grosseur des grains et de la structure de la meule. Un travail d'ébauche, ou de gros grains, ou une structure ouverte, autorisent une plus grande profondeur de passe. En fait, comme les grains et la structure sont déjà adaptés à la nature du travail, on peut admettre les profondeurs de passe suivantes: 0,05 à 0,1 pour l'ébauche, 0,02 à 0,01 pour la demi-finition, 0,002 à 0,001 pour la finition. En pratique, pour la finition, on renouvelle les passes jusqu'à la suppression des étincelles, c'est-à-dire jusqu'à la disparition des défauts dus au fléchissement éventuel de la pièce.

D. Arrosage

Le mélange à sec provoque, par réchauffement rapide de la pièce, l'altération de sa dureté superficielle et des déformations. **Il faut donc travailler sous arrosage.**

1° Arrosage par ajutage orienté

Grâce à l'ajutage terminé en sifflet et convenablement orienté , le liquide arrose la pièce au lieu d'être attiré et projeté par la meule.

De plus, la largeur de l'ajutage est inférieure à l'épaisseur de la meule pour soustraire la veine liquide au courant d'air chassé vers la périphérie sur chaque face de la meule

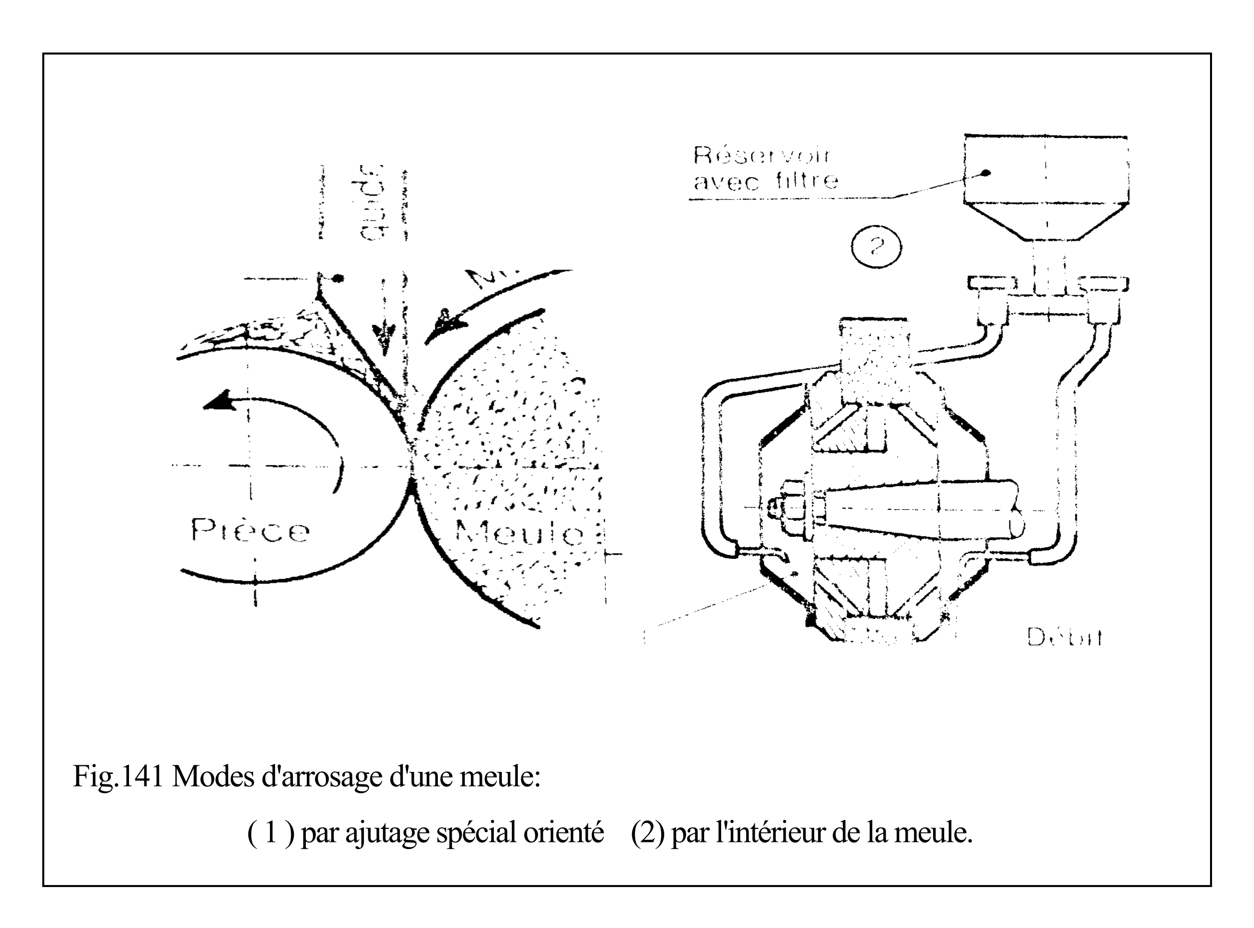


Fig.141 Modes d'arrosage d'une meule:
(1) par ajutage spécial orienté (2) par l'intérieur de la meule.

2° Arrosage par l'intérieur de la meule

Du fait de porosité des meules (meules vitrifiées surtout) et sous l'effet de la force centrifuge, le liquide d'arrosage admis goutte à goutte dans la partie interne, traverse la masse et vient au contact de la pièce qu'il refroidit efficacement

Cependant, le liquide d'arrosage qui circule en circuit fermé, entraîne avec lui les copeaux et les particules de désagrégation de la meule et devient rapidement boueux, il s'ensuivrait une obstruction des pores si l'installation ne comportait obligatoirement un filtre efficace.

17.2.5 Montage des meules

1° Précaution de montage.

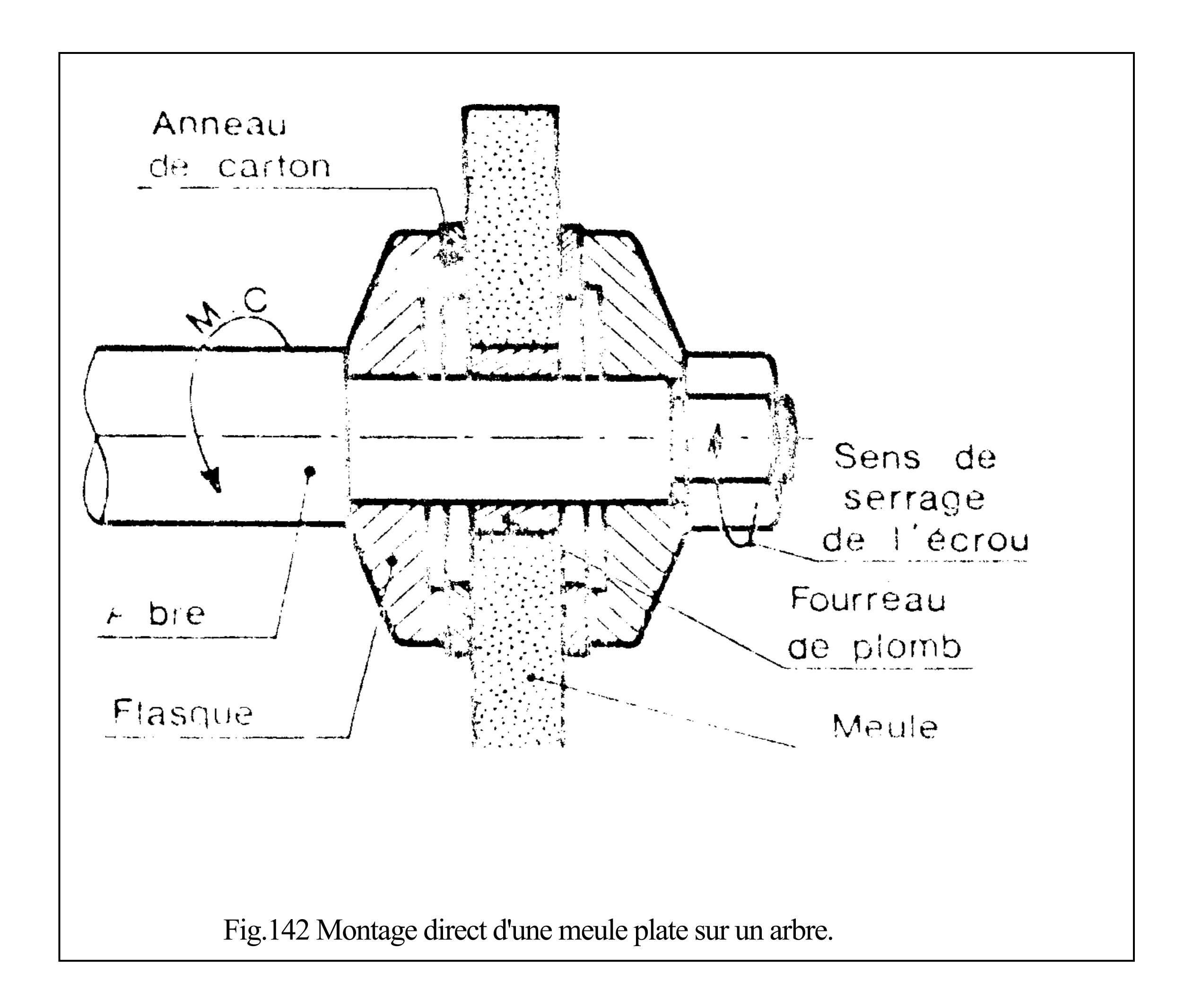


Fig.142 Montage direct d'une meule plate sur un arbre.

En raison de leur grande vitesse de rotation, les meules présentent de graves dangers et leur montage doit garantir la sécurité au maximum. Il faut donc respecter les règles essentielles ci-après:

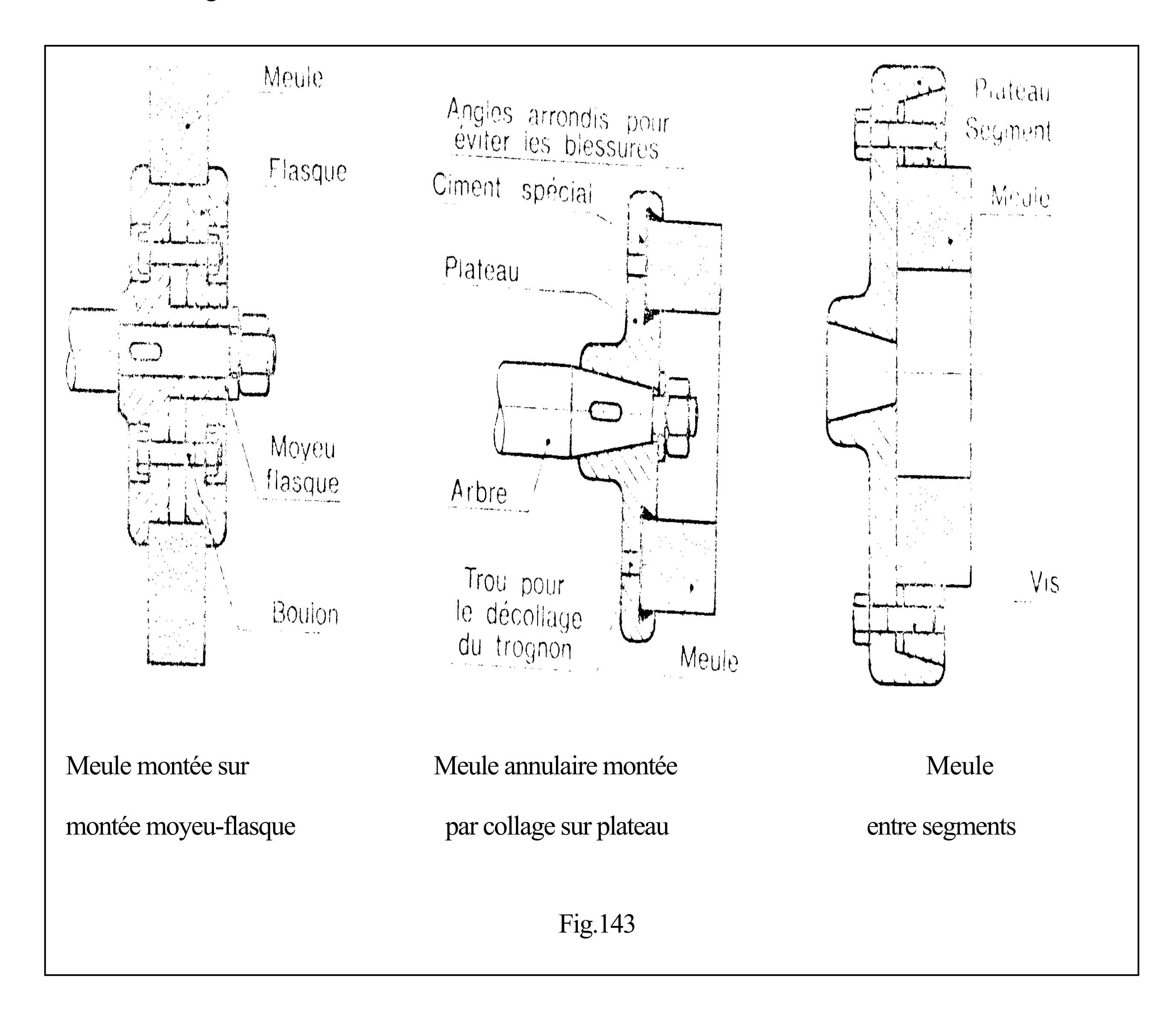
- avant montage, **sonner** la meule avec un petit marteau pour détecter toute éventuelle fêlure. Une meule non fêlée rend un son clair;
- n'accepter que la meule qui **glisse librement mais sans jeu** sur l'arbre porte-meule;
- **intercaler** entre les flasques et la meule une **rondelle de carton mince** (fig.) pour égaliser la pression de serrage;
- **s'assurer que le sens de rotation** de la meule **n'a pas tendance à dévisser l'écrou de serrage** par inertie au moment du démarrage;
- **après montage, laisser tourner la meule à vide pendant un court instant** en évitant de se placer dans son champ.

2° Modes de montages

- **Sur arbre avec écrou en bout.** C'est le plus courant et qui convient aux meules de moyennes et petites dimensions.

- **Sur moyeu flasque.** On réduit ainsi le volume du trognon central inutilisable et on reporte la masse sur un diamètre moyen plus important, ce qui augmente la vitesse circonférentielle.

- **Sur plateau** pour les meules annulaires. La fixation peut alors être réalisée par **collage** ou par serrage à l'aide de segments de coincement.



Meule montée sur montée moyeu-flasque — Meule annulaire montée par collage sur plateau — Meule entre segments

Fig.143

3° Equilibrage des meules

Le moindre **balourd** provoque des vibrations préjudiciables à la quantité du meulage. **Il est donc nécessaire d'équilibrer les meules lorsque leur masse est**

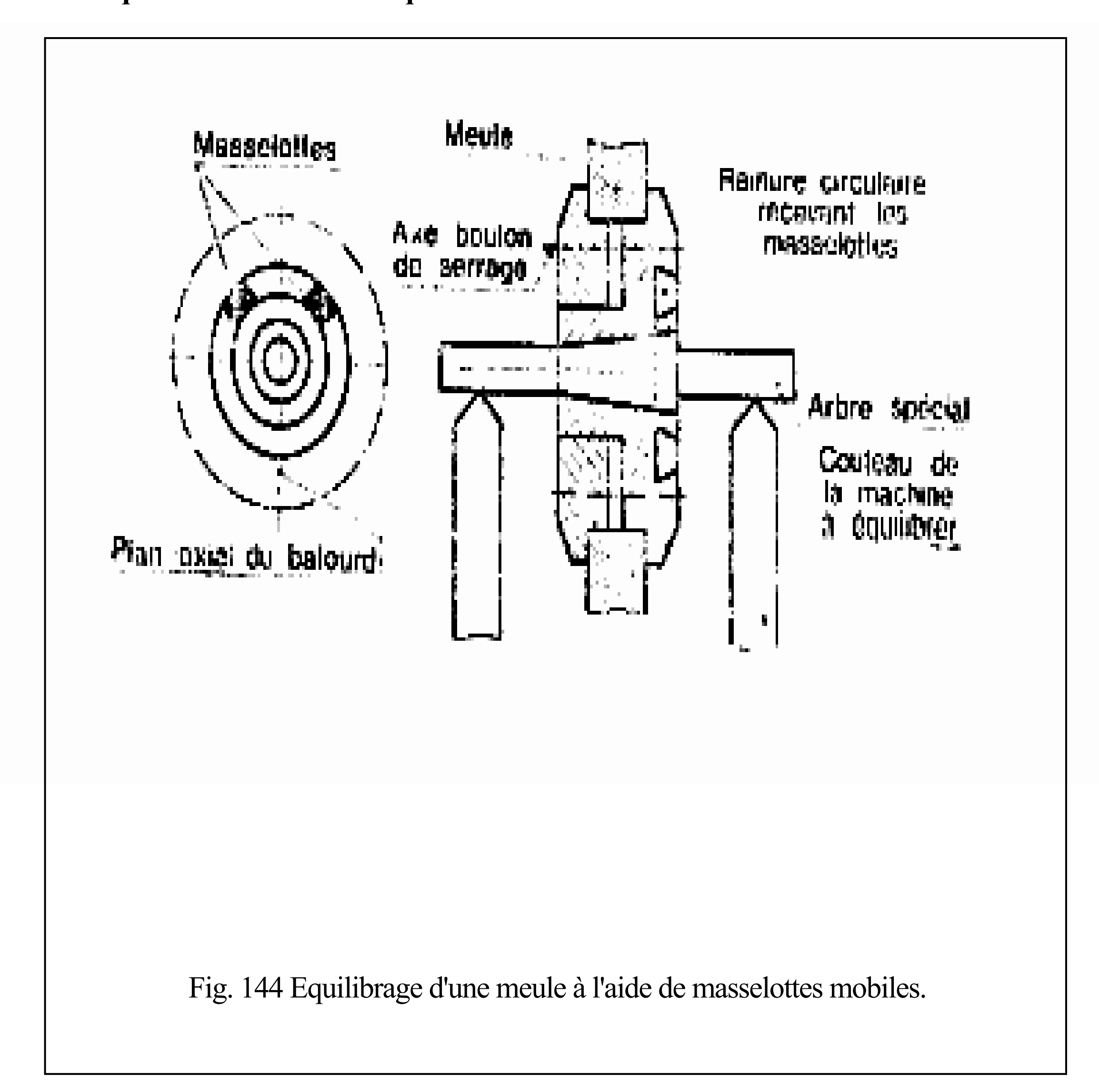


Fig. 144 Equilibrage d'une meule à l'aide de masselottes mobiles.

L'équilibre d'une meule montée sur moyeu-flasque, par exemple, peut être obtenu par déplacement des masselottes dans une rainure portée par le flasque centré. L'ensemble, porté par un arbre spécial, est posé sur les deux appuis couteaux parfaitement horizontaux d'un appareil d'équilibrage. Le balourd provoque la rotation de la meule pour occuper la partie basse et les masselottes sont fixées en partie haute apposée jusqu'à immobilité indifférente de la meule.

17.2.6 Entretien des meulesL'usure entraîne des irrégularités de forme, des faux ronds (balourds), des encrassements locaux. Il est donc nécessaire de corriger périodiquement ces défauts et d'éliminer les grains emprisonnés dans les parties lustrées.

On peut avoir aussi à tailler le chant à un profil correspondant à celui de la pièce à meuler. Pour les **réfections,** on peut utiliser:

- Le **dresseur diabolo** surtout pour les meules d'affûtage à main;
- Le **dresseur à molettes** pour le décrassage des meules d'ébarbage.

Le **retaillage soigné et précis** ne peut se faire qu'au **dresseur à diamant** guidé. C'est le cas pour les meules de rectifieuses et d'affuteuses.

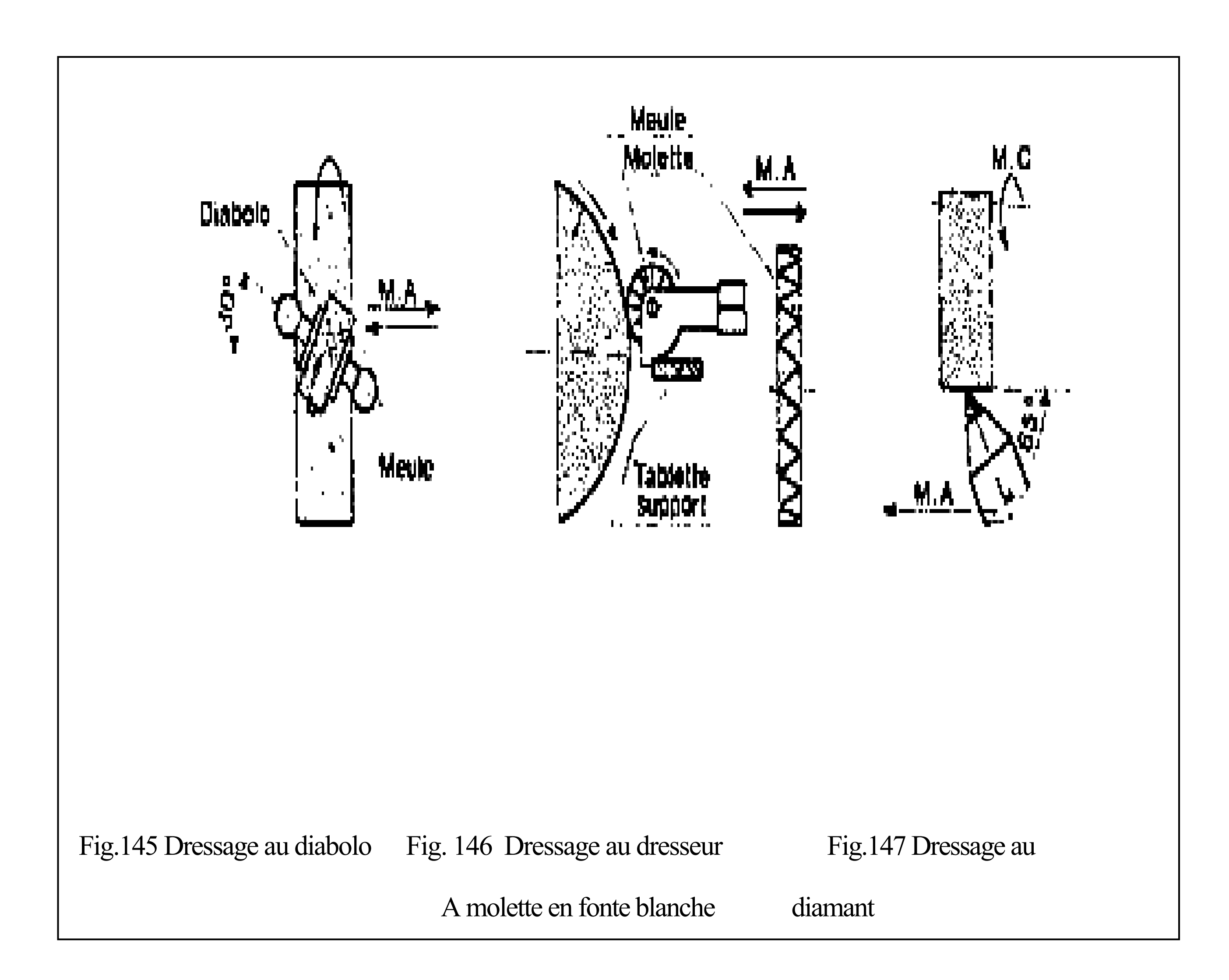


Fig.145 Dressage au diabolo — Fig. 146 Dressage au dresseur A molette en fonte blanche — Fig.147 Dressage au diamant

17.2.7. Précautions à prendre pour le meulage

Pour éviter les accidents:

- ne pas utiliser une meule dépourvue de capot de protection;
- porter des lunettes protectrices;
- approcher le support de pièces - dans le cas d'un meulage à la main - le plus près possible de la meule, pour éviter rentraînement de la pièce et son coincement entre la meule et le support, et fixer le support très solidement.

17.2.8. Vérification préalable

Les meules sont fragiles, elles doivent être manipulées avec précaution, il faut éviter les chocs. La meule tourne à grande vitesse, chacune de ses parties est soumise à l'action d'une force qui tend à l'arracher de la masse

F : Force d'arrachement appliquée à une partie de meule.

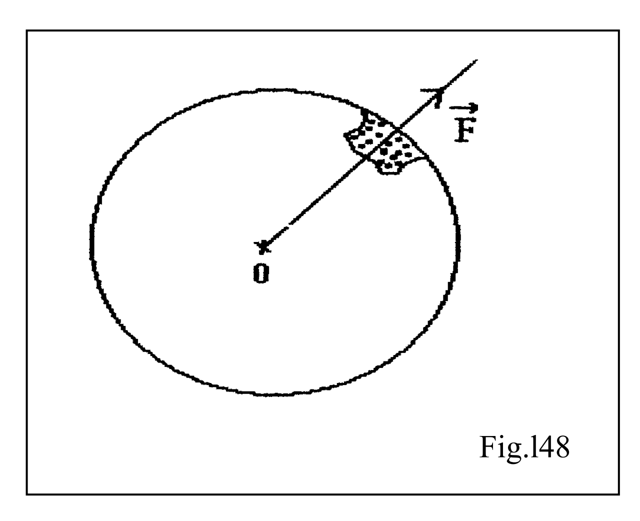


Fig.148

En conclusion, une meule qui n'est pas saine risque d'éclater, il faut donc, avant de procéder au montage, la tenir par son alésage et donner un léger coup de maillet, (fig.), deux cas:

- le son est clair: la meule n'est pas fêlée;
- le son est mat: la meule est fêlée, il ne faut pas la monter.

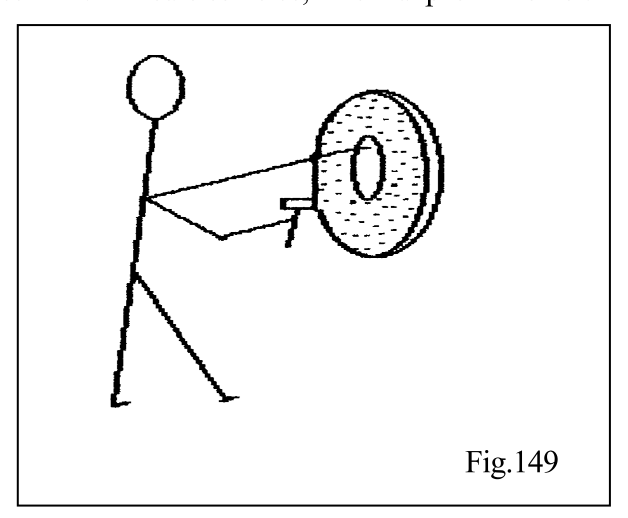


Fig.149

Les meules sont très employées en rectification. La finition par rectification des pièces semi-finies assure des valeurs très réduites pour touts les tolérances qui définissent les surfaces planes.

La surface rectifiée est engendrée par la périphérie d'une meule plate. Trois mouvements coordonnés sont nécessaires pour produire une surface.

Me : mouvement de coupe circulaire continu de la meule.

Me : mouvement rectiligne alternatif de la pièce.

Ma : mouvement d'avance rectiligne discontinu de la pièce.

La rectification nécessite:

- Le repérage de la zone de surépaisseur maximale.
- Plusieurs passes (p = 0,02 à 0,04 mm) pour blanchir la surface en faisant disparaître les irrégularités de forme.
- Plusieurs passes d'ébauche (p = 0,02 à 0,04 mm)

La surépaisseur résiduelle sur la surface blanchie est donc répartie antre l'ébauche et la finition. Exemple: plan S = 0,10 mm e reservent 0,01 mm pour la finition, il reste 0,09 mm pour l'ébauche réalisable en trois passes de p = 0,03 mm. Il existe:

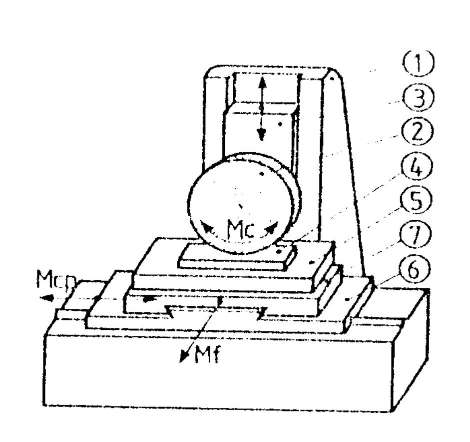
- la rectification plane.
- et la rectification cylindrique.

La génération du plan nécessite deux mouvements que l'on retrouve sur la machine .

M_m Mouvement de coupe de la meule

M_{cp} Mouvement de coupe de la pièce

(rectiligne alternatif) M, Mouvement d'avance de la pièce



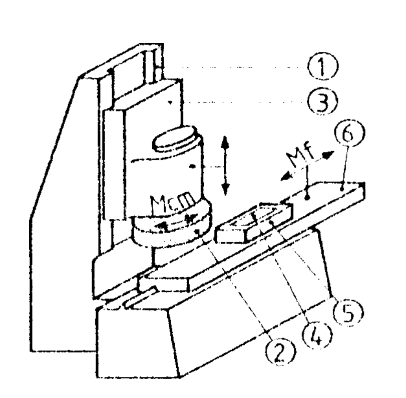


Fig .150 Rectifieuse à meule de profil Rectifieuse à meule de face

1- bâti, 5-porte pièce

2- meule, 6- table longitudinale animée d'un mouvement, 7- chariot transversal

3- chariot porte meule (pénétration)

4- pièce

Rectification par meulage de profil

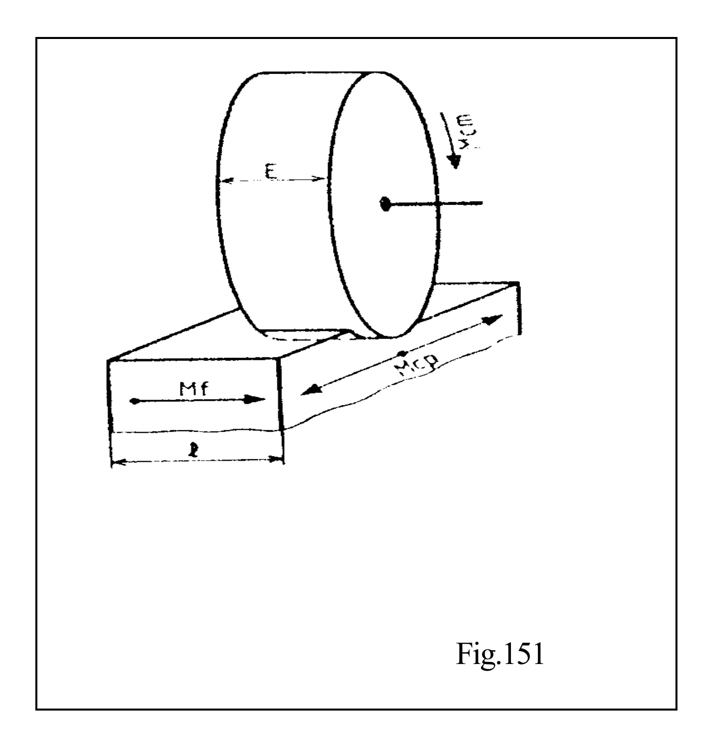


Fig.151

Liaisons entre les différents organes d'une rectifieuse à meule

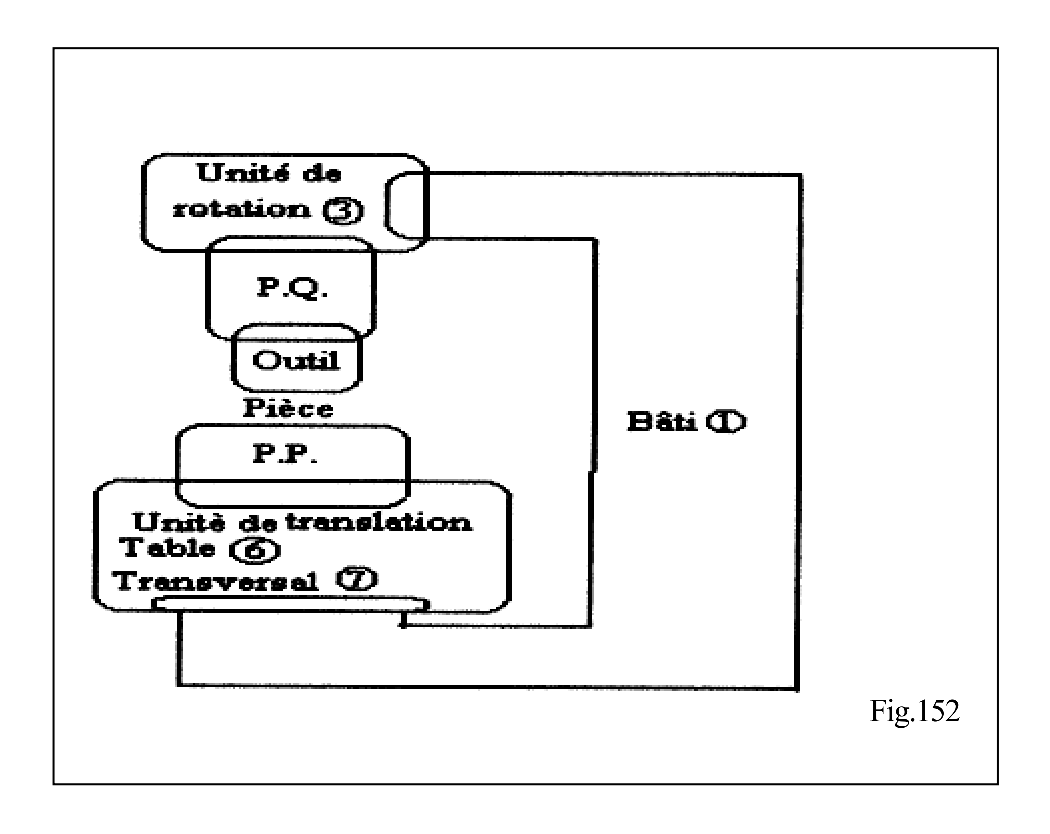


Fig.152

Par meulage de face

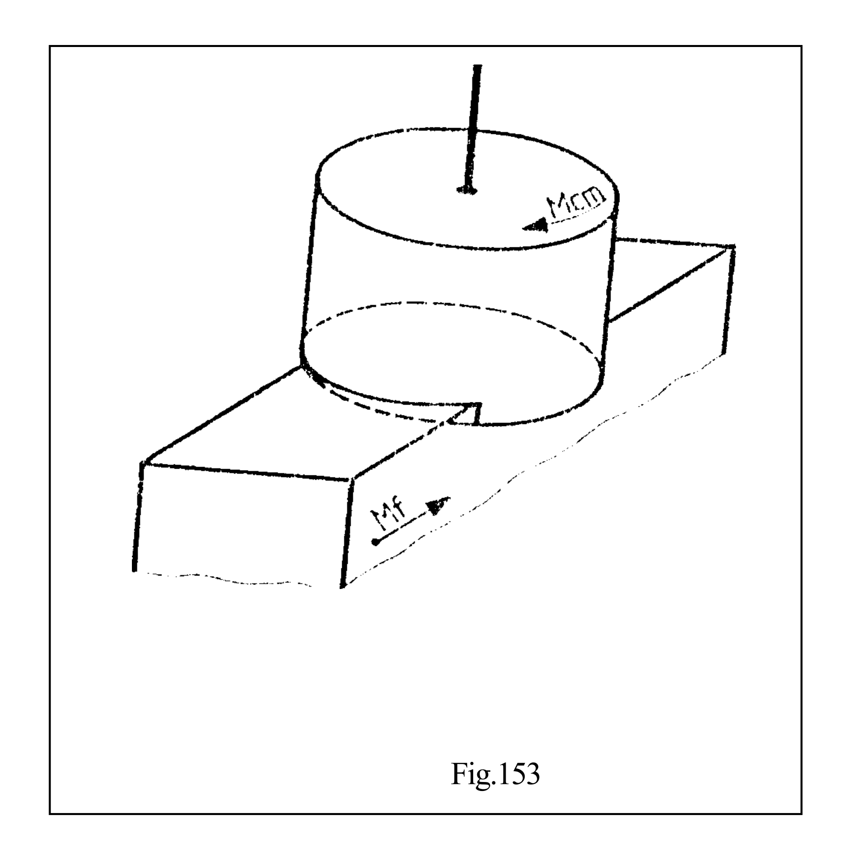


Fig.153

17.2.9. Rectification plane La meule est animée d'un mouvement de rotation, le mouvement d'avance est généralement donné à la pièce.

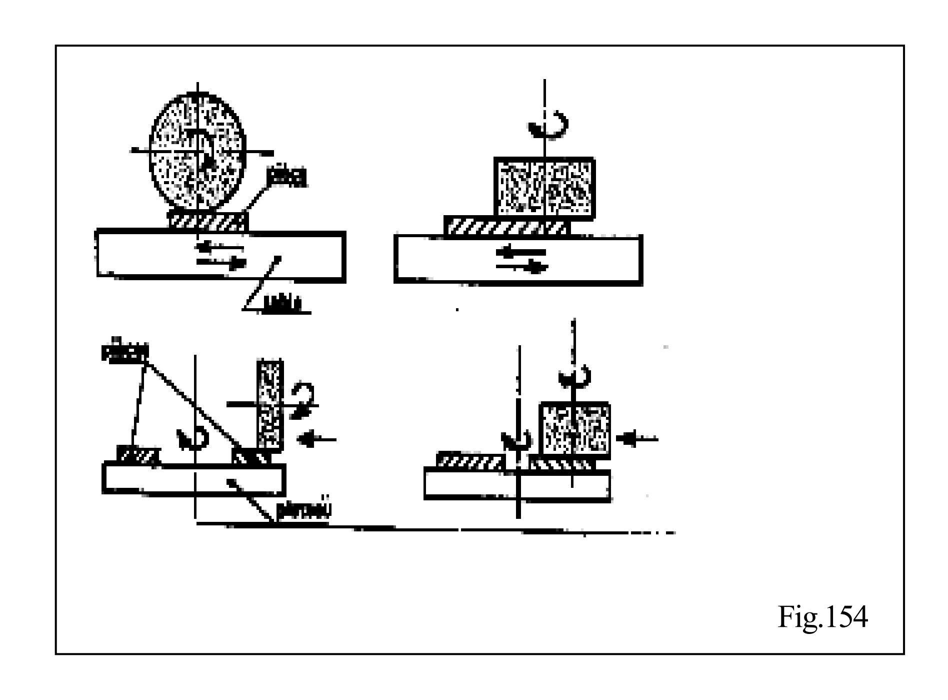


Fig.154

17.2.10. Rectification de révolution.

Rectification extérieure (cylindrique ou conique) Meule et pièces sont animés d'un mouvement de rotation, le mouvement d'avance est donné à la meule ou à la pièce.

Rectification intérieure

- pièce en rotation (7).
- Pièce fixe, la meule est animée d'un mouvement planétaire.

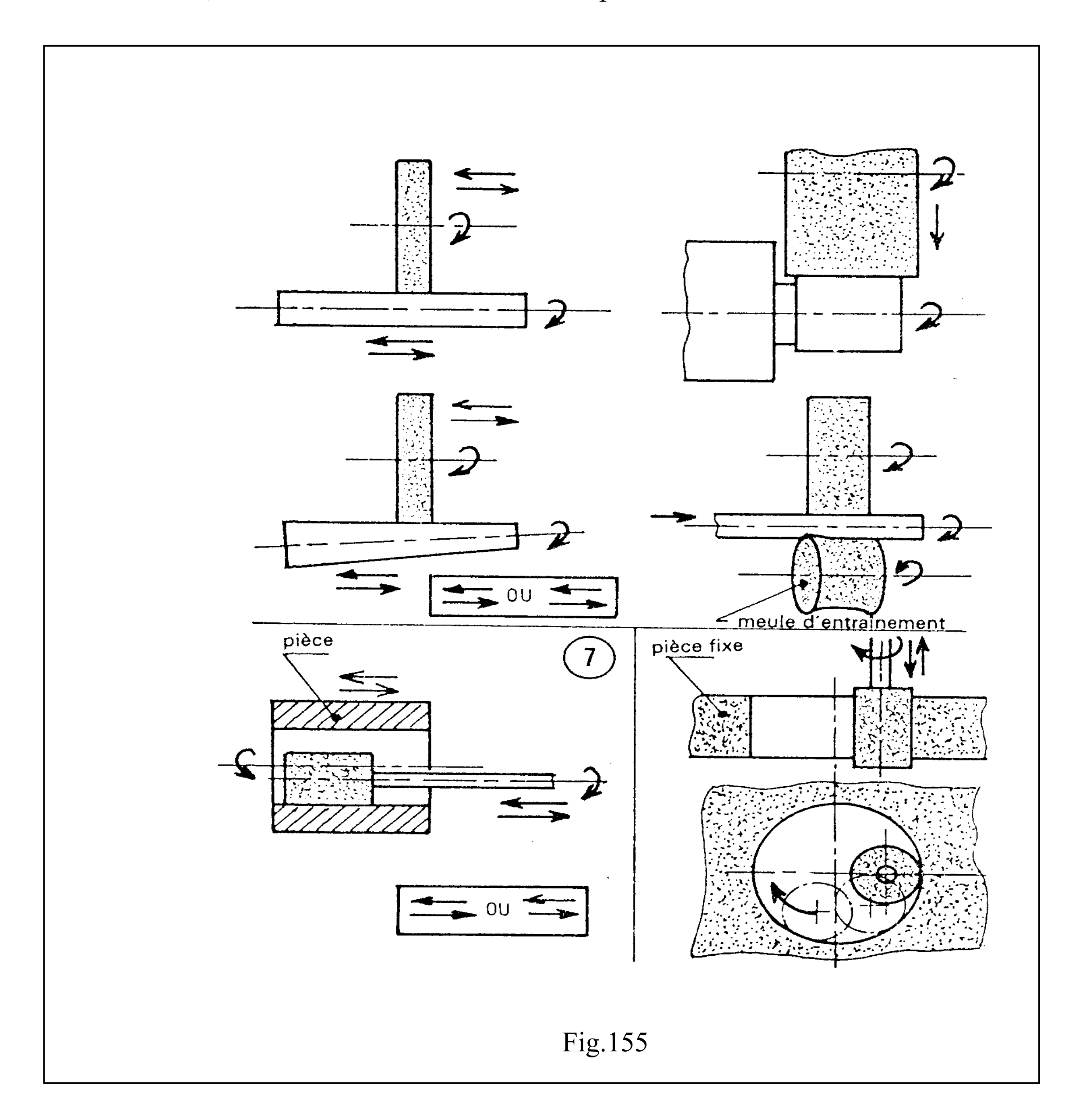


Fig.155

SOMMAIRE

BIBLIOGRAPHIE

1. Coupe des metaux, Pierozak-Jean Pierre. Editrion OPU Alger 1988
2. Iaschenbuch Maschinenbau (band I/II). Edition VEB Verlag Berlin 1965.
3. Fabrication Mecanique, Tome I, R. Butin et M. Pinot. Edition Foucher Paris.
4. Fabrication Mecanique, Tome II, R. Butin et M. Pinot. Edition Foucher Paris
5. Technoilogie, A Castel et A. Dupont. Edition Desforges Paris.